



دانشگاه گواران و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و پنجم، شماره پنجم، ۱۳۹۷

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2018.12334.2691

بررسی اثر ارتفاع بیوراکتور پر شده با بیوچار در حذف نیترات و آمونیوم از زه آب زهکش‌ها

مریم احمدوند^۱، * جابر سلطانی^۲، مریم وراوی پور^۳ و سید ابراهیم هاشمی گرمدره^۲

^۱ دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبیاری، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، آستادیار گروه مهندسی آبیاری، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران،
^۲ دانشیار گروه مهندسی آبیاری، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۶/۱۷

چکیده

سابقه و هدف: یکی از مهم‌ترین آلاینده‌ها در آب‌های سطحی و زیرزمینی نیتروژن محلول به فرم نیترات می‌باشد. بیوراکتورهای دنیتریفیکاسیون با ایجاد یک محیط از منابع کربنی و عبور آب زهکش از میان آن باعث افزایش دنیتریفیکاسیون و حذف نیترات از محیط می‌گردند. در این مطالعه از بیوچار به‌عنوان دیواره کربنی در بیوراکتور استفاده شده است. در گام نخست به مقایسه عملکرد بیوراکتور پر شده با بیوچار و بیوراکتور پر شده از پوشال گندم در حذف نیترات و آمونیوم از زه آب زهکش‌های زیرزمینی پرداخته شد. پس از آن تأثیر ارتفاع بیوراکتور بر غلظت نیترات و آمونیوم خروجی از بیوراکتورهای پر شده با بیوچار پوشال گندم مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر این تأثیر گذر زمان بر کارایی بیوراکتورها در حذف نیترات و آمونیوم برای یک دوره چهار ماهه مورد بررسی گردید.

مواد و روش‌ها: در راستای اهداف پژوهش، بیوراکتورهایی با لوله‌های پلی اتیلنی با ارتفاع ۱۲۵ سانتی متری شبیه‌سازی شدند. فاکتور تغییر ارتفاع در ۴ سطح شامل ۳۲/۵، ۶۲/۵، ۹۲/۵، ۱۲۵ سانتی متر که به ترتیب با H_1 ، H_2 ، H_3 و H_4 نشان داده شده، مورد بررسی قرار گرفت. شاهد (B_0) حاوی ۳۰ درصد حجمی پوشال گندم و بیوراکتورهای نمونه (B_1) حاوی ۳۰ درصد حجمی بیوچار پوشال گندم می‌باشند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد، غلظت نیترات خروجی از بیوراکتورهای دنیتریفیکاسیون به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر بیوچار به‌کار رفته در آن‌ها قرار دارد. میانگین غلظت نیترات خروجی از بیوراکتورهای دارای ۳۰ درصد بیوچار ۱۸/۱۶ میلی‌گرم در لیتر است در حالی‌که این مقدار در بیوراکتورهای فاقد بیوچار برابر با ۴۹/۰۱ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. همچنین با افزایش ارتفاع بیوراکتور غلظت نیترات خروجی از بیوراکتور کاهش می‌یابد. در پایان دوره ۴ ماهه نمونه‌برداری غلظت نیترات خروجی از تیمارهای نمونه H_1B_1 ، H_2B_1 ، H_3B_1 و H_4B_1 از ۱۶۰ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب به مقادیر ۲۰/۹۱، ۱۲/۸۵، ۸/۰۴ و ۵/۲۳ میلی‌گرم در لیتر کاهش یافت، در حالی‌که در تیمارهای شاهد H_1B_0 ، H_2B_0 ، H_3B_0 و H_4B_0 غلظت نیترات خروجی در پایان دوره نمونه‌برداری برابر با ۴۲/۱۷، ۳۶/۳۶، ۲۸/۹۹ و ۱۹/۶۵

* مسئول مکاتبه: jsoltani@ut.ac.ir

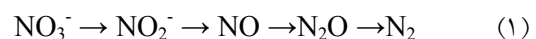
میلی‌گرم در لیتر است. گذر زمان در سطح ۱ درصد تأثیر معناداری در میزان حذف نیترات دارد و در پایان دوره ۴ ماهه آزمایش، میانگین غلظت نیترات خروجی از بیوراکتورهای نمونه به پایین‌ترین حد یعنی ۲۱/۷۷ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد، این در حالی است که میانگین غلظت نیترات خروجی در روز اول نمونه‌برداری ۵۹/۲۱ میلی‌گرم در لیتر مشاهده گردید. غلظت آمونیوم خروجی از بیوراکتورهای حاوی بیوجار و بیوراکتورهای فاقد بیوجار در مقایسه با غلظت آمونیوم ورودی به آن‌ها افزایش یافت، علت این امر را می‌توان این‌گونه بیان کرد که بخشی از نیترات توسط باکتری‌های بی‌هوازی به آمونیوم تبدیل می‌گردد. ولی علی‌رغم این افزایش مقدار آن بسیار ناچیز و کم‌تر از ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر است.

نتیجه‌گیری: راندمان حذف نیترات در بیوراکتورهای دارای بیوجار بیش‌تر از بیوراکتورهای فاقد بیوجار هست. افزایش ارتفاع بیوراکتور سبب افزایش حذف نیترات می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آمونیوم، بیوجار، دنیتریفیکاسیون، نیترات

مقدمه

یکی از مهم‌ترین آلاینده‌ها در آب‌های سطحی و زیرزمینی نیتروژن محلول به فرم نیترات می‌باشد. نتایج مطالعات مختلف نشان می‌دهد که بخش قابل‌توجهی از نیترات انتقالی به آب‌های سطحی به‌طور مستقیم مربوط به جریان‌های جانبی می‌باشد که توسط سیستم زهکش‌های زیرزمینی انجام می‌شود (۹ و ۱۶). سیستم‌های زهکشی مصنوعی با افزایش نسبی سرعت انتقال زه‌آب به آب‌های سطحی نسبت به حالت طبیعی باعث می‌شوند زمان به وقوع پیوستن فرآیندهای طبیعی از جمله دنیتریفیکاسیون کاهش یابد (۱۲). دنیتریفیکاسیون یا احیای غیرمستقیم نیترات به نیتروژن به‌عنوان یکی از روش‌های مدیریتی حذف نیترات از زه‌آب‌های کشاورزی شناخته شده است. در این روش نیترات مطابق رابطه ۱ توسط باکتری‌های بی‌هوازی هتروتروف به گاز نیتروژن تبدیل می‌گردد.



بیوراکتورهای دنیتریفیکاسیون با ایجاد یک محیط از منابع کربنی و عبور آب زهکش از میان آن باعث

افزایش دنیتریفیکاسیون و حذف نیترات از محیط می‌گردند. بدسم و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از مدل‌های آزمایشگاهی اثر مواد آلی در حذف نیترات را مورد بررسی قرار دادند. در مطالعات ایشان دیواره‌های دنیتریفیکاسیونی از جنس خاک اره به‌عنوان ماده کربنی با ضخامت‌های ۳۰، ۶۰ و ۹۰ سانتی‌متر مورد استفاده قرار گرفت. نتایج مطالعات ایشان نشان داد که در طی ۱۰ ماه غلظت نیترات از ۱۲ میلی‌گرم در لیتر به ۱ میلی‌گرم در لیتر کاهش یافت. همچنین افزایش ضخامت تأثیر قابل‌توجهی بر حذف نیترات نداشت (۴). هاشمی و همکاران (۲۰۱۱) از نسبت ۷۰ به ۳۰ درصد حجمی خاک و پوشال جو به‌عنوان فیلتر با ارتفاع ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر استفاده کردند. نتایج مطالعات ایشان نشان داد افزایش ارتفاع فیلتر از ۳۰ به ۶۰ سانتی‌متر باعث می‌شود میزان حذف نیترات به‌طور معنی‌دار افزایش یابد. ایشان توانستند غلظت ۱۶۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات ورودی را در پایان دوره آزمایش به ۲۰ میلی‌گرم در لیتر برسانند (۱۰).

همان‌طور که ذکر گردید تا کنون از مواد مختلفی از جمله خاک اره، کمپوست و پوست درختان

خروجی در بیوراکتورهای حاوی بیوچار تا ۹۴ درصد کاهش یافت در حالی که این کاهش در بیوراکتور شاهد تا ۱۳ درصد بود (۵). همان طور که اشاره شد، درصد کربن موجود در بیوچار نسبت به سایر مواد کربنی خام بیش تر است. بنابراین انتظار می رود بیوچار به دلیل دارا بودن مقادیر بالای کربن قابل دسترس باکتری های دنیتریفیکاتور، سبب افزایش فعالیت این باکتری ها شده و در مقایسه با مواد کربنی خام منجر به حذف بیش تر نیترات از محلول های آبی گردد.

بنابراین در این پژوهش، در گام نخست به مقایسه عملکرد بیوراکتور پر شده با بیوچار و بیوراکتور پر شده از پوشال گندم در حذف نیترات و آمونیوم از زه آب زهکش های زیرزمینی پرداخته شد. پس از آن تأثیر ارتفاع بیوراکتور بر غلظت نیترات و آمونیوم خروجی از بیوراکتورهای پر شده با بیوچار پوشال گندم مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر این تأثیر گذر زمان بر کارایی بیوراکتورها در حذف نیترات و آمونیوم برای یک دوره چهار ماهه مورد بررسی گردید.

مواد و روش ها

به منظور آماده سازی بیوراکتورهای حذف نیترات همان گونه که در شکل ۱ دیده می شود از لوله های پلی اتیلن با قطر ۹ سانتی متر و ارتفاع ۱۲۵ سانتی متر استفاده شد. یک طرف این ستون ها با استفاده از کلاهک های پلی اتیلنی آب بندی و طرف دیگر آن پس از پر کردن ستون با ترکیب های مختلف خاک، پوشال گندم و بیوچار، با استفاده از کلاهک هایی بسته شد. در پایین و بالای این ستون ها سوراخ هایی به قطر ۱۲/۵ میلی متر ایجاد شد تا آب از این طریق به ستون ها وارد و از آن خارج گردد. به دلیل این که حرکت مواد کربنی و خاک باعث گرفته شدن ورودی و خروجی ستون ها نگردد، قبل و بعد از پر کردن

به عنوان دیواره کربنی در بیوراکتور استفاده شده است، ولی در مطالعات انگشت شماری (۵ و ۸) از بیوچار به عنوان دیواره کربنی در بیوراکتور استفاده شده است. بیوچار زغال تهیه شده از زیست توده گیاهی و ضایعات کشاورزی تحت شرایط اکسیژن محدود است. در فرآیند تهیه این زغال دی اکسید کربن در اتمسفر آزاد نمی شود و از این رو کربن فراوانی دارد. از ویژگی های این ماده می توان به ساختار متخلخل، چگالی کم، نیمه عمر طولانی (۱۰۰ تا ۱۰۰۰ سال) ظرفیت تبادل کاتیون و سطح تماس زیاد آن اشاره کرد (۱۳). مطالعات بسیاری به بررسی توانایی این ماده در بهبود وضعیت خاک و مشخصات فیزیکی - شیمیایی خاک از جمله افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، حفظ مواد مغذی خاک پرداخته اند (۲، ۳، ۶، ۷ و ۱۵). همچنین فایده های دیگری شامل جذب کربن آلی محلول، افزایش pH، کاهش انتشار NO_x و CH_4 ، کنترل تحرک انواع آلاینده های زیست محیطی، مانند فلزات سنگین، آفت کش ها و دیگر آلاینده های آلی و ذرات ماکروسکوپی برای بیوچار گزارش شده است (۱، ۵، ۸، ۱۱، ۱۴، ۱۸ و ۱۹). کریستیانسن و همکاران (۲۰۱۱) دو ترکیب مختلف از بیوچار تهیه شده از برگ کاج (۷ و ۱۴ درصد وزنی) را با خاک و چوب مخلوط کرده و تأثیر آن بر حذف نیترات را مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش های ایشان نشان داد، بین ستون شاهد که فقط با چوب و خاک پر شده بود و ستون های تیمار که در آن ها بیوچار نیز به کار رفته تفاوت معنی داری وجود ندارد (۸). باک و همکاران (۲۰۱۵) در یک مطالعه آزمایشگاهی از ۹ بیوراکتور دنیتریفیکاسیون به منظور بررسی میزان حذف نیترات استفاده کردند. در بیوراکتور شاهد فقط چوب و در سایر بیوراکتورها ترکیب چوب و بیوچار به کار برده شد. نتایج مطالعات ایشان نشان داد غلظت نیترات

توسط شناوری ثابت نگهداشته می‌شد و سپس به وسیله لوله ۱۶ میلی‌متری به ستون‌ها منتقل می‌گردید (۱۰). در این پژوهش سعی گردید با توجه به غلظت نیترات آب شهری، در مخزن ۱۰۰۰ لیتری به اندازه‌ای نیترات اضافه گردد که غلظت نیترات محلول ورودی به بیوراکتورها ۱۶۰ میلی‌گرم در لیتر باشد.

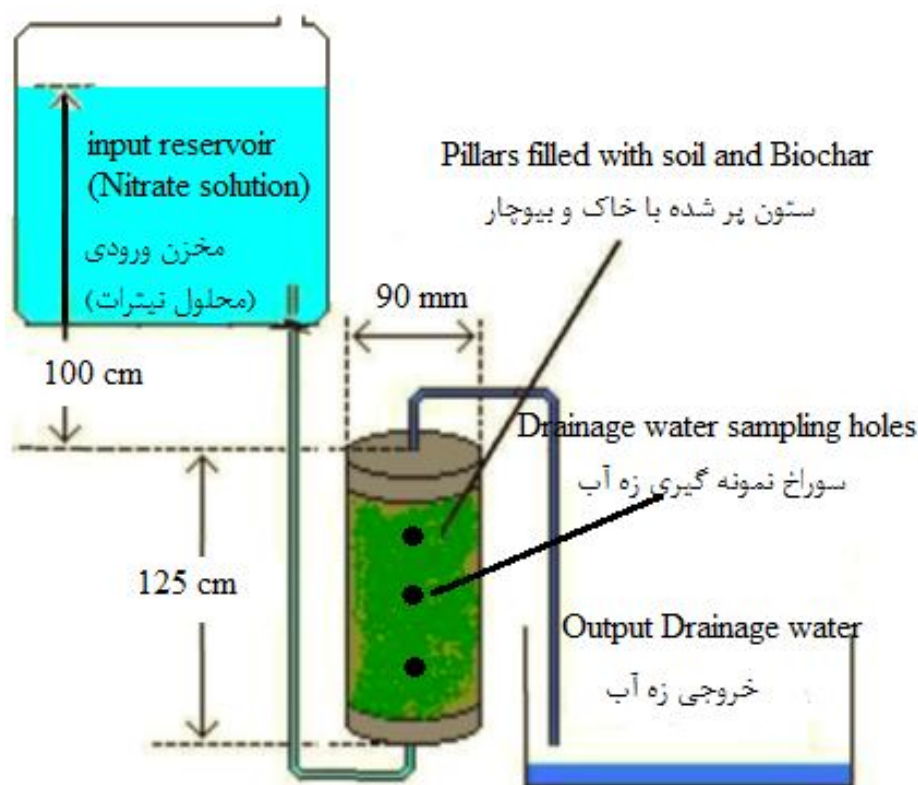
از آنجایی که این بیوراکتورها به‌عنوان فیلتر در عمق زمین نصب می‌گردند و میکروارگانیزم‌های لایه زیرین خاک با سطح آن متفاوت می‌باشند، بنابراین خاک مورد استفاده در این مطالعه از عمق ۶۰ سانتی‌متری مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران واقع در شهرستان پاکدشت تهیه گردید. بافت خاک استفاده شده در این آزمایش لوم شنی است. بیوجار مورد استفاده در این مطالعه از پوشال گندم تهیه گردید. برای این منظور ابتدا پوشال گندم در هوای آزاد خشک و سپس به قطعات ۲ سانتی‌متری خرد گردید. سپس در داخل کوره‌ای که برای این منظور تدارک دیده شده بود، مواد خام را ریخته و در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد بیوجار تولید گردید.

نمونه‌برداری از محلول ورودی و خروجی ستون‌های آزمایشگاهی به مدت ۴ ماه به صورت دو هفته یکبار توسط بطری‌های پلاستیکی تمیز انجام گرفت. نمونه‌ها تا زمان اندازه‌گیری در دمای کم‌تر از ۴ درجه سانتی‌گراد و در یخچال نگهداری می‌شدند. برای اندازه‌گیری نیترات و آمونیوم از دستگاه اسپکتوفتومتری به ترتیب با طول موج‌های ۴۱۰ و ۴۲۵ نانومتر استفاده گردید. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شده و تجزیه واریانس و مقایسه میانگین پارامترها با آزمون دانکن با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت.

ستون‌ها یک توری نازک و یک لایه شن به ضخامت ۲/۵ سانتی‌متر در کف و بالای ستون‌ها قرار داده شد. برای پر کردن ستون‌ها ابتدا خاک مورد آزمایش از الک شماره ۱۰ عبور داده شد. سپس بیوجار تهیه شده از پوشال گندم و خاک با نسبت ۳۰ به ۷۰ با یکدیگر ترکیب شده و برای پر کردن ستون‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. به این صورت که پس از ریختن هر لایه ۵ سانتی‌متری و کوبیدن آن با وزنه ۳ کیلویی لایه بعدی ریخته شد تا علاوه بر این که از حرکت ذرات خاک جلوگیری شود، بتوان شرایطی مشابه با شرایط مزرعه را ایجاد نمود. به‌منظور اطمینان از عبور آب از تمام خلل و فرج موجود در ستون‌ها، از جریان رو به بالا استفاده گردید و ستون‌ها به حالت ایستاده در داخل جعبه‌هایی قرار گرفتند. به این ترتیب که محلول از پایین وارد ستون شده و از بالای آن خارج می‌گردید. از آنجا که هدف از این پژوهش مقایسه عملکرد بیوراکتور پر شده با پوشال گندم و بیوراکتور پر شده با بیوجار است. بنابراین ستون شاهد با ۷۰ درصد خاک و ۳۰ درصد پوشال گندم پر گردید.

بر روی ستون‌های آزمایشگاهی سوراخ‌هایی با فاصله ۳۰ سانتی‌متر جهت نمونه‌گیری تعبیه گردید تا بتوان از این طریق تأثیر ارتفاع بیوراکتور بر میزان حذف نیترات از زه‌آب را بررسی نمود. در واقع فاکتور تغییر ارتفاع در ۴ سطح شامل ۳۲/۵، ۶۲/۵، ۹۲/۵، ۱۲۵ سانتی‌متر که به ترتیب با H_1 ، H_2 ، H_3 و H_4 نشان داده شده، مورد بررسی قرار گرفت.

محلول ورودی در مخزن ۱۰۰۰ لیتری که در پشت بام آزمایشگاه قرار داشت آماده می‌گردید. محلول اولیه با غلظت ۱۶۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات از این مخزن به صورت ثقیلی وارد مخزنی که سطح آب در آن با انتهای ستون‌ها ۱۰۰ سانتی‌متر اختلاف داشت وارد و



شکل ۱- شماتیک بیوراکتور حذف نیترات.

Figure 1. Schematic of nitrate removal bioreactor.

۳۲/۲۸، ۱۹/۷۲ و ۱۳/۲۸ میلی گرم در لیتر کاهش یافت. این در حالی است که این مقادیر در تیمارهای شاهد H_4B_0 و H_3B_0 ، H_2B_0 ، H_1B_0 به ترتیب برابر با ۱۱۸/۲۷، ۹۴/۹۷، ۷۲/۹۹ و ۵۵/۴۵ میلی گرم در لیتر است. در پایان دوره نمونه برداری غلظت نیترات خروجی از تیمارهای نمونه H_3B_1 ، H_2B_1 ، H_1B_1 و H_4B_1 به ترتیب به مقادیر ۲۰/۹۱، ۱۲/۸۵، ۸/۰۴ و ۵/۲۳ میلی گرم در لیتر کاهش یافت، در حالی که در تیمارهای شاهد H_4B_0 و H_3B_0 ، H_2B_0 ، H_1B_0 غلظت نیترات خروجی در پایان دوره نمونه برداری برابر با ۴۲/۱۷، ۳۶/۳۶، ۲۸/۹۹ و ۱۹/۶۵ میلی گرم در لیتر است. همان طور که نتایج نشان می دهد با افزایش ارتفاع بیوراکتور غلظت نیترات خروجی از بیوراکتور کاهش می یابد. جدول های ۱ و ۲ به ترتیب تجزیه

نتایج و بحث

به منظور مقایسه عملکرد بیوراکتور پر شده با بیوجار و بیوراکتور پر شده از پوشال گندم، ستون هایی به عنوان شاهد فقط با مخلوط خاک و پوشال گندم پر شدند. بیوراکتورهای پر شده با پوشال گندم و خاک به عنوان شاهد (B_0) و بیوراکتورهای پر شده با بیوجار و خاک به عنوان نمونه (B_1) در نظر گرفته شدند. نتایج ارائه شده از میانگین نتایج به دست آمده از سه تکرار می باشد. شکل های ۲ و ۳ به ترتیب روند تغییرات غلظت نیترات خروجی از بیوراکتورهای شاهد و نمونه را در طول ۴ ماه نمونه برداری نشان می دهند. مطابق این شکل ها در تیمارهای نمونه H_4B_1 ، H_3B_1 ، H_2B_1 و H_1B_1 یک روز پس از شروع آزمایش غلظت نیترات خروجی به ترتیب به ۶۶/۷۸،

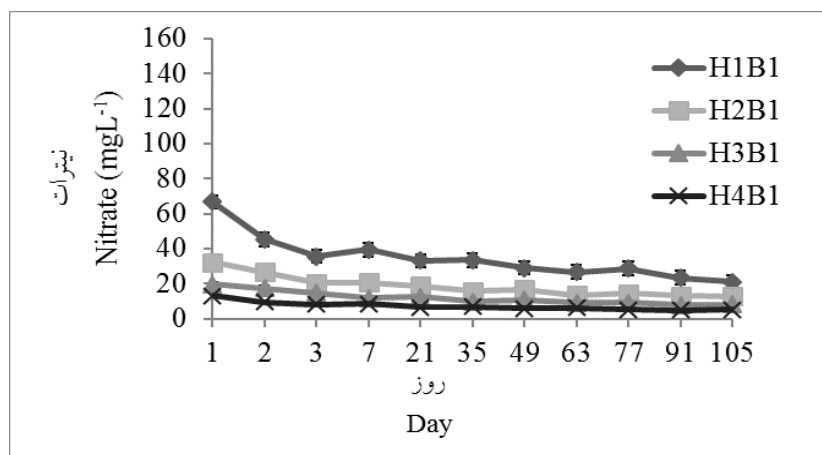
می‌رسد، این در حالی است که میانگین غلظت نیترات خروجی در روز اول نمونه‌برداری ۵۹/۲۱ میلی‌گرم در لیتر مشاهده گردید. شکل ۴ راندمان نیترات حذف شده برای تیمارهای H_4B_1 ، H_3B_1 ، H_2B_1 ، H_1B_1 و H_4B_1 را در پایان دوره آزمایش در مقایسه با تیمارهای شاهد H_4B_0 ، H_3B_0 ، H_2B_0 ، H_1B_0 نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌گردد راندمان حذف نیترات در بیوراکتورهای دارای بیوچار بیش‌تر از بیوراکتورهای فاقد بیوچار هست.

مطابق جدول ۲ غلظت نیترات خروجی از بیوراکتورهای دنیتریفیکاسیون به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر بیوچار به‌کار رفته در آن‌ها قرار گرفت. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌گردد، میانگین غلظت نیترات خروجی از بیوراکتورهای دارای ۳۰ درصد بیوچار ۱۸/۱۶ میلی‌گرم در لیتر است در حالی‌که این مقدار در بیوراکتورهای فاقد بیوچار برابر با ۴۹/۰۱ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. باک و همکاران (۲۰۱۵) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند (۵). با این‌حال کریستیانسن و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند کاربرد بیوچار به‌میزان ۷ و ۱۴ درصد وزنی در بیوراکتور دنیتریفیکاسیون تفاوت معنی‌داری در میزان حذف نیترات ایجاد نمی‌کند (۸). این نتایج ضد و نقیض ممکن است به دلایل مختلفی از جمله ماده اولیه‌ای که بیوچار از آن تهیه شده، دمای تهیه بیوچار، اندازه بیوچار و درصد کاربرد آن در بیوراکتور مشاهده شده باشد.

واریانس منبع تغییرات و مقایسه میانگین را برای غلظت نیترات و آمونیوم خروجی از بیوراکتورها را نشان می‌دهند.

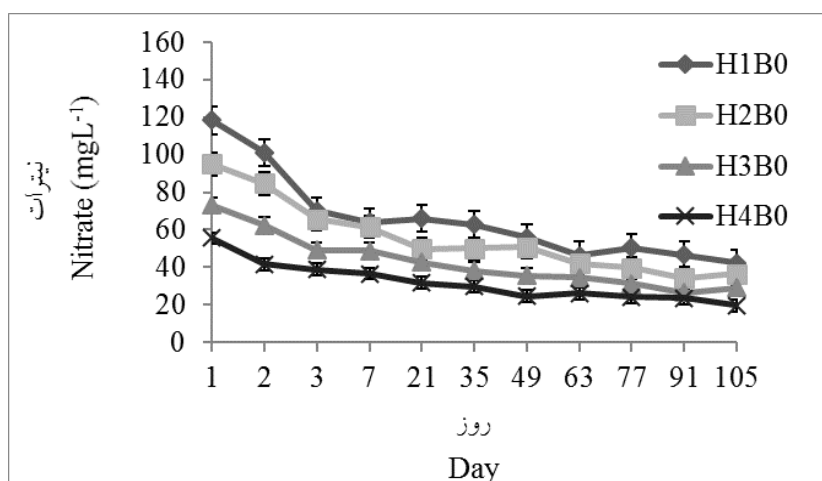
مطابق جدول ۱ ارتفاع بیوراکتور در سطح ۱ درصد تأثیر معنی‌داری در غلظت نیترات خروجی از بیوراکتورها دارد. علت این امر را می‌توان این‌گونه بیان نمود که با افزایش ارتفاع بیوراکتور زمان ماند افزایش می‌یابد. شرایط ماندابی باعث ایجاد محیطی مناسب برای رشد و تکثیر باکتری‌های دنیتریفیکاتور می‌شود. بنابراین شرایط برای حذف بیش‌تر نیترات فراهم می‌گردد. اگرچه بدسم و همکاران (۲۰۰۵) به نتایج مشابهی دست نیافتند (۴)، با این‌حال نتایج این بخش با نتایج به‌دست آمده توسط هاشمی و همکاران (۲۰۱۱) تطابق دارد. ایشان دریافتند ارتفاع بیوراکتور تأثیر معنی‌داری در میزان حذف نیترات دارد و بیوراکتورهای با ضخامت ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر به‌ترتیب ۵۷/۳۳ و ۶۵/۸۹ درصد از نیترات ورودی را از محیط حذف می‌کنند (۱۰).

همچنین در شکل‌های ۲ و ۳ مشاهده می‌گردد که با گذر زمان میزان نیترات خروجی از بیوراکتورها کاهش می‌یابد. جدول ۱ نیز این امر را تصدیق می‌کند. مطابق جدول ۱ افزایش زمان در سطح ۱ درصد تأثیر معناداری در میزان حذف نیترات دارد. همچنین در جدول ۲ مشاهده می‌گردد که در پایان دوره ۴ ماهه آزمایش میانگین غلظت نیترات خروجی از بیوراکتورهای نمونه به پایین‌ترین حد یعنی ۲۱/۷۷ میلی‌گرم در لیتر



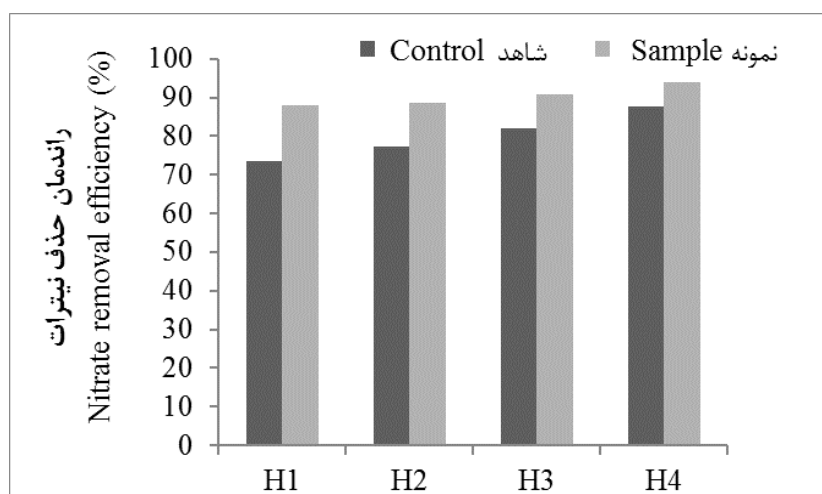
شکل ۲- روند تغییرات غلظت نیترات خروجی در طول دوره آزمایش برای تیمارهای نمونه.

Figure 2. Changes in the concentration of outlet nitrate during the test period for sample treatments.



شکل ۳- روند تغییرات غلظت نیترات خروجی در طول دوره آزمایش برای تیمارهای شاهد.

Figure 3. Changes in the concentration of outlet nitrate during the test period for control treatments.



شکل ۴- مقایسه راندمان حذف نیترات در بیوراکتورهای شاهد و نمونه در پایان دوره آزمایش.

Figure 4. Comparison of nitrate removal efficiency in control and sample bioreactors after experiment period.

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات).

Table 1. Analysis of variance (Mean Square).

میانگین مربعات آمونیوم Mean-square of Ammonium	میانگین مربعات نترات Mean-square of Nitrate	درجه آزادی Degrees of freedom	منبع تغییرات Mean square
0.00236**	62809.98**	1	Biochar percentage درصد بیوچار
0.03561**	11510.31**	3	Bioreactor Height ارتفاع بیوراکتور
0.21244**	3203.78**	10	Time زمان
0.00005	398.93**	3	Biochar percentage × Bioreactor Height درصد بیوچار × ارتفاع بیوراکتور
0.00026	702.77**	10	Biochar percentage × Time درصد بیوچار × زمان
0.00055**	170.86**	30	Bioreactor Height × Time ارتفاع بیوراکتور × زمان
0.00012	23.79	30	Biochar percentage × Bioreactor Height × Time درصد بیوچار × ارتفاع بیوراکتور × زمان
0.00014	22.79	176	Experimental Error خطای آزمایشی
4.23	14.21	-	Coefficient of variation ضریب تغییرات

** در سطح ۱ درصد و * در سطح ۵ درصد معنی دار است.

**,* Significant at P<0.01 and P<0.05, respectively.

جدول ۲- مقایسه میانگین‌ها.

Table 2. Comparison of the averages.

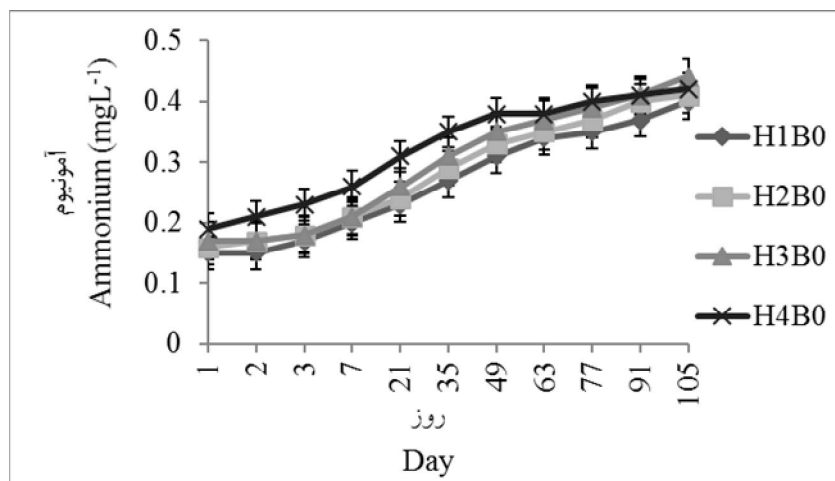
میانگین غلظت آمونیوم خروجی (mgL ⁻¹) Average of output Ammonium concentration (mgL ⁻¹)	میانگین غلظت نترات خروجی (mgL ⁻¹) Average of output Nitrate concentration (mgL ⁻¹)	تیمارهای آزمایش Test treatments		
		زمان از شروع آزمایش (روز) Time from the start of the test (day)	ارتفاع بیوراکتور (cm) Bioreactor Height (cm)	درصد بیوچار (حجمی) Biochar percentage (volumetric)
0.291 ^a	49.01 ^a			شاهد Control
0.285 ^b	18.16 ^b			0% biohar
0.263 ^d	50.28 ^a		32.5	30% biohar
0.280 ^c	37.02 ^b		62.5	
0.293 ^b	27.39 ^c		92.5	
0.318 ^a	19.64 ^d		125	
0.166 ^k	59.21 ^a	1		
0.175 ^j	48.61 ^b	2		
0.186 ⁱ	37.80 ^c	7		
0.206 ^h	36.45 ^c	21		
0.252 ^g	32.63 ^d	35		
0.307 ^f	30.81 ^{de}	49		
0.340 ^e	28.62 ^c	63		
0.358 ^d	25.57 ^f	77		
0.373 ^c	25.42 ^f	91		
0.394 ^b	22.51 ^g	105		
0.415 ^a	21.77 ^g	119		

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD فاقد اختلاف آماری معنی دار (P≤۰/۰۵) هستند.

The averages with at least one common letter based on the LSD test are not statistically significant (P≤0.05).

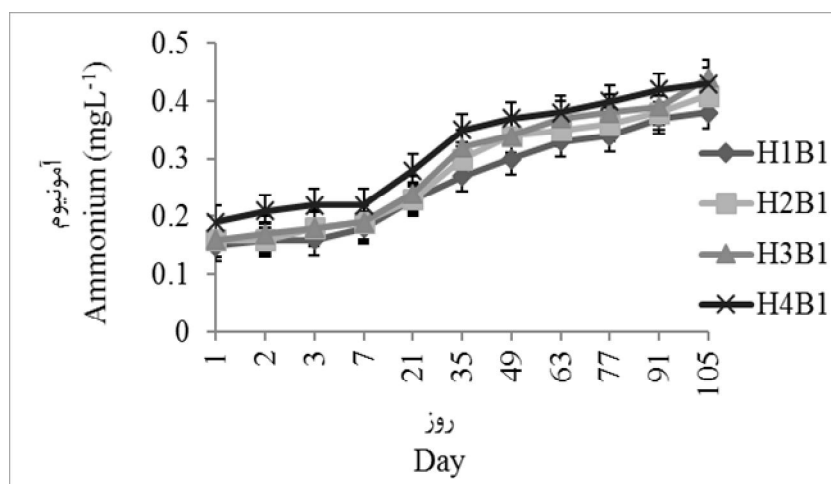
افزایش یافته است. نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج به دست آمده توسط هاشمی و همکاران (۲۰۱۱) و بدسم و همکاران (۲۰۰۵) و رابرتسون و همکاران (۲۰۰۰) تطابق دارد. علت این امر را می توان این گونه بیان نمود که در محیط های هوازی چندین عامل باعث از بین رفتن نیترات می شود که این عوامل شامل بی حرکت شدن نیترات، تبدیل نیترات به آمونیوم و دنیتریفیکاسیون می باشد. در جدول ۱ مشاهده می گردد که اثر بیوچار به کار رفته در بیوراکتورهای دنیتریفیکاسیون بر غلظت آمونیوم خروجی از آن ها در سطح ۱ درصد معنی دار است. همان طوری که در جدول ۲ مشاهده می گردد، میانگین غلظت آمونیوم خروجی از بیوراکتورهای دارای ۳۰ درصد بیوچار ۰/۲۸۵ میلی گرم در لیتر است، در حالی که این مقدار در بیوراکتورهای فاقد بیوچار برابر با ۰/۲۹۱ میلی گرم در لیتر می باشد. همچنین مطابق جدول ۱ ارتفاع بیوراکتور در سطح ۱ درصد تأثیر معنی داری در غلظت آمونیوم خروجی از بیوراکتورها دارد.

با توجه به این که در این پژوهش، غلظت نیترات در محلول ورودی با حل کردن نیترات پتاسیم در آب به دست آمد و تقریباً هیچ آمونیومی در محلول ورودی اضافه نشد، بنابراین غلظت آمونیوم در محلول ورودی بسیار ناچیز بوده و در طول دوره آزمایش کم تر از ۰/۰۳ میلی گرم در لیتر به دست آمد. ولی در اندازه گیری غلظت آمونیوم خروجی از بیوراکتورها مشاهده شد که مقدار آن بیش تر از غلظت آمونیوم ورودی به سیستم می باشد. غلظت آمونیوم خروجی از همه بیوراکتورهای شاهد و نمونه افزایش یافته است و مقدار آن با توجه به ارتفاع بیوراکتور متغیر می باشد. شکل های ۵ و ۶ به ترتیب روند تغییرات غلظت آمونیوم جریان خروجی از بیوراکتورهای دنیتریفیکاسیون شاهد و نمونه را در طول دوره آزمایش در ارتفاع های مختلف نشان می دهند. همان طوری که در شکل های ۵ و ۶ مشاهده می گردد، غلظت آمونیوم خروجی از هر دو سری بیوراکتورهای حاوی بیوچار و فاقد بیوچار در مقایسه با غلظت آمونیوم ورودی به آن ها



شکل ۵- روند تغییرات غلظت آمونیوم خروجی در طول دوره آزمایش برای تیمارهای شاهد.

Figure 5. Changes in the concentration of outlet Ammonium during the test period for control treatments.



شکل ۶- روند تغییرات غلظت آمونیوم خروجی در طول دوره آزمایش برای تیمارهای شاهد.

Figure 6. Changes in the concentration of outlet Ammonium during the test period for sample treatments.

بیوراکتورهای فاقد بیوچار در مقایسه با غلظت آمونیوم ورودی به آنها افزایش یافت، ولی علی‌رغم این افزایش مقدار آن بسیار ناچیز و کمتر از ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر است. همچنین با افزایش ارتفاع بیوراکتور غلظت نیترات خروجی از بیوراکتور کاهش و غلظت آمونیوم خروجی از بیوراکتور افزایش می‌یابد. علی‌رغم افزایش غلظت آمونیوم خروجی از بیوراکتور مقادیر آن بسیار ناچیز است.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد، کاربرد بیوچار پوشال گندم در بیوراکتور دنیتریفیکاسیون در مقایسه با کاربرد پوشال گندم باعث افزایش حذف نیترات می‌گردد. در طول دوره ۴ ماهه آزمایش درصد حذف نیترات افزایش یافت به طوری که در پایان دوره نمونه‌برداری، ستون‌های حاوی بیوچار توانستند تا ۸۶ درصد نیترات ورودی را از محیط حذف نمایند. غلظت آمونیوم خروجی از بیوراکتورهای حاوی بیوچار و

منابع

- Ahmadvand, M., Soltani, J., Hashemi Garmdareh, S.E., and Varavipour, M. 2018. The relationship between the characteristics of Biochar produced at different temperatures and its impact on the uptake of NO₃--N, Environ. Health Engin. Manage. J. 5: 2. 67-75.
- Beesley, L., and Marmiroli, M. 2011. The immobilisation and retention of soluble arsenic, cadmium and zinc by biochar. Environmental Pollution 159: 474-480.
- Behnam, H., Farrokhian Firouzi, A., and Moezzi, A.A. 2016. Effect of sugarcane bagasse biochar and compost on some soil mechanical properties. Water and Soil Conservation. 23: 4. 235-250. (In Persian)
- Bedessem, M.E., Edgar T.V., and Roll, R. 2005. Nitrogen removal in laboratory model leachfields with organic-rich layers. J. Environ. Qual. 34: 3. 936-942.
- Bock, E., Smith, N., Rogers, M., Benham, B., and Easton, Z.M. 2015. Enhanced Nitrate and Phosphate Removal in a Denitrifying Bioreactor with Biochar. J. Environ. Qual. 44: 605-613.
- Boostani, H.R. 2018. Effect of organic manures, their biochars and arbuscular mycorrhizae fungi on distribution of zinc chemical fractions in a calcareous soil. Water and Soil Conservation. 24: 5. 49-71. (In Persian)

7. Boostani, H.R., and Najafi Ghiri, M. 2018. Effect of organic manures, their biochar and mycorrhizae fungi application on the chemical forms of potassium in a calcareous soil. 24: 6. 159-176. (In Persian)
8. Christianson, L., Hedley, M., Camps, M., Free, H., and Sagggar, S. 2011. Influence of biochar amendments on denitrification bioreactor performance. www.massey.ac.nz/flrc/workshops/11/Manuscripts.
9. Daniel, T.C., Sharpley, A.N., and Lemunyon, J.L. 1998. Agricultural phosphorus and eutrophication: A symposium overview. *J. Environ. Qual.* 27: 2. 251-257.
10. Hashemi, S.A., Heydarpur, M., and Mustafa Zadeh Fard, B. 2011. Investigation of the amount of nitrate removal in the two situations of the placing biological filters in subsoil drainage systems. *J. Irrig. Sci. Engin.* 34: 2. 71-81.
11. Inyang, M., Gao, B., Pullammanappallil, P., Ding, W., and Zimmerman, A.R. 2010. Biochar from anaerobically digested sugarcane bagasse. *Bioresour. Technol.* 101: 8868-8872.
12. Kellman, L.M. 2005. A study of tile drain nitrate -15N values as a tool for assessing nitrate sources in an agricultural region. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 71.
13. Lehmann, J., Gaunt, J., and Rondon, M. 2005. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems- a review. *Mitigation and adaptation strategies for global change.*
14. Lehmann, J., Gaunt, J., and Rondon, M. 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems - a review. *Mitigat. Adaptat. Strateg. Global Change.* 11: 403-427.
15. Najafi Ghiri, M., and Boostani, H.R. 2017. Effect of application of crop and licorice root residues and their biochars on potassium status of a calcareous soil. *Water and Soil Conservation.* 24: 3. 77-93. (In Persian)
16. Randal, G.W., Vetsch, J.A., and Huffman, J.R. 2003. Nitrate Losses in Subsurface Drainage from a Corn-Soybean Rotation as Affected by Time of Nitrogen Application and Use of Nitrpyrin. *J. Environ. Qual.* 32: 5. 1764-1772.
17. Robertson, W.D., Blowes, D.W., Ptacek, C.J., and Cherry, J.A. 2000. Long-term performance of in situ reactive porous media barriers for nitrate remediation. *Ground Water.* 38: 5. 689-695.
18. Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K.Y., Downie, A., Rust, J., Joseph, S., and Cowie, A. 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant Soil* 327: 235-246.
19. Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A.C., Velde, M.V.D., and Diafas, I. 2009. *Biochar Application to Soils – A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, processes and functions.* EUR 24099 EN. Office for the Official Publications of the European Communities, Luxemburg, 149p.



Effects of Biochar-filled bioreactor's height on Nitrate and ammonium reduction of drainage water

M. Ahmadvand¹, *J. Soltani², M. Varavipour³ and S.E. Hashemi Garmdare²

¹Ph.D. Student, Dept. of Irrigation Engineering, Abouraihan Campus, University of Tehran,

²Assistant Prof., Dept. of Irrigation Engineering, Abouraihan Campus, University of Tehran,

³Associate Prof., Dept. of Irrigation Engineering, Abouraihan Campus, University of Tehran

Received: 01.10.2018; Accepted: 09.08.2018

Abstract

Background and Objectives: Aqua solutions containing nitrogen as nitrate are considered to be one of the most important pollutants of surface water and underground water. Denitrification bioreactors provide a carbon sourced environment. Passing drainage water through such bioreactors results in an increase in denitrification level and nitrate elimination. In this study, biochar is used as carbon wall in bioreactors. At first, nitrate and ammonium elimination performance of biochar-filled bioreactors and wheat straw-filled bioreactors were compared. Then, the effect of height of bioreactor on concentration of output nitrate and ammonium is taken under study. Also, performance of bioreactors in nitrate and ammonium elimination is investigated in a four month time period.

Materials and Methods: In order to perform this research, poly-ethylene bioreactors with height of 125 centimeters were used. Height factor is taken under study in four levels; $H_1=32.5$ cm, $H_2=62.5$ cm, $H_3=92.5$ cm and $H_4=125$ cm. Control bioreactors (B_0) were filled with 30% wheat straw and sample bioreactors (B_1) were filled with 30% Biochar of wheat straw.

Results: The results showed that output nitrate concentration of denitrification bioreactors significantly depends on biochar type. Output concentration of biochar-filled bioreactors (B_1) is 18.16 mg/liter while the output nitrate concentration of wheat-straw filled bioreactors (B_0) is 49.01 mg/liter. Also, it has been shown that increasing bioreactor's height would reduce output nitrate concentration in both bioreactors. After four month of sampling, output nitrate concentration from 160 mg/liter was reduced in different treatments; 20.91 mg/liter in H_1B_1 , 12.85 in H_1B_2 , 8.05 mg/liter in H_3B_1 and 5.23 in H_4B_1 . However, in control treatments nitrate concentration was reduced to 42.17 mg/liter in H_1B_0 , 36.36 mg/liter in H_2B_0 , 28.99 mg/liter in H_3B_0 and 19.65 mg/liter in H_4B_0 . Time also has a significant effect on nitrate elimination ($P<0.01$). After four month of experiment, average concentration of output nitrate in sample bioreactors reached the minimum 21.77 mg/liter, while it was measured 59.21 mg/liter on the first day of experiment. Concentration of output ammonium in both biochar-filled and wheat straw-filled bioreactors was increased comparing to concentration of input ammonium. It can be explained as some of the nitrate is dissimilate to ammonium by anaerobic bacteria. However, this increase was less than 0.5 mg/liter and negligible.

Conclusion: The performance of nitrate elimination in biochar-filled bioreactors is more than wheat-straw bioreactors. Also, height increase in bioreactors would result in more nitrate elimination.

Keywords: Ammonium, Biochar, Denitrification, Nitrate

* Corresponding Author; Email: jsoltani@ut.ac.ir