

محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره ۷۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷

صفحات ۱ تا ۱۰

بررسی تاثیر استفاده از بیوچار در کارایی بیوراكتورهای حذف نیترو

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

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان

۲- استادیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان

۴- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان

(تاریخ دریافت ۹۶/۰۵/۲۸- تاریخ پذیرش ۹۶/۱۱/۰۶)

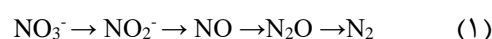
چکیده:

بیوچار زغال تهیه شده از زیست توده گیاهی و ضایعات کشاورزی تحت شرایط اکسیژن محدود است. در فرآیند تهیه زغال دی اکسید کربن در اتمسفر آزاد نمی شود و از این رو سرشار از کربن است. مطالعات بسیاری به بررسی توانایی بیوچار در بهبود وضعیت خاک و حفظ مواد مغذی خاک پرداخته اند. ولی تاکنون مطالعات انگشت شماری به بررسی تاثیر بیوچار در حذف نیترات از زه آبها پرداخته اند. فرض تحقیق حاضر این است که بکارگیری بیوچار به جای مواد خام کربنی در بیوراكتور حذف نیترات، بدلیل دارا بودن مقادیر بالاتر کربن، می تواند باعث حذف کارآمدتر نیترات از زهکش های زیرزمینی گردد. به منظور ارزیابی اثر ترکیب های مختلف بیوچار (۰، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درصد) و همچنین اثر مقادیر مختلف غلظت نیترات ورودی (۴۰ و ۱۶۰ میلی گرم در لیتر) بر عملکرد بیوراكتور حذف نیترات، بیوراكتورهایی با لوله های پلی اتیلنی با ارتفاع ۱۲۵ سانتی متری شبیه سازی شدند. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی و در سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد، درصد حذف نیترات در ستون های آزمایش به طور معنی داری تحت تأثیر درصد بیوچار به کار رفته در آنها قرار دارد و بیشترین مقدار آن در ستون های حاوی ۳۰ درصد بیوچار (۹۶/۴ درصد) و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد (۸۰/۷ درصد) مشاهده شد. همچنین اثر غلظت نیترات ورودی بر درصد حذف نیترات معنی دار و درصد حذف نیترات در تیمار C2 (۱۶۰ میلی گرم در لیتر) کمتر از تیمار C1 (۴۰ میلی گرم در لیتر) و به ترتیب ۸۹/۹ و ۹۱/۴ درصد بود.

کلید واژگان: بیوچار، نیترات، بیوراكتور، زهکش زیرزمینی

۱. مقدمه

سیستم‌های زهکشی زیرزمینی با فراهم کردن امکان کشت به موقع و افزایش کارایی خاک باعث افزایش محصولات کشاورزی در نقاط مختلف جهان گردیده‌اند. با این وجود اثرات زیان‌بار این سیستم‌ها بر کیفیت آب‌های سطحی یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های در این مناطق می‌باشد. نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که بخش قابل توجهی از نیترات انتقالی به آب‌های سطحی به طور مستقیم مربوط به جریان‌های جانبی می‌باشد که توسط سیستم زهکش‌های زیرزمینی انجام می‌شود (Randal et al., 2003). سیستم‌های زهکشی مصنوعی با افزایش نسبی سرعت انتقال زه‌آب به آب‌های سطحی نسبت به حالت طبیعی باعث می‌شوند زمان به وقوع پیوستن فرایندهای طبیعی از جمله دنیتریفیکاسیون کاهش یابد (Kellman, 2005). دنیتریفیکاسیون یا احیای غیر مستقیم نیترات به نیتروژن به عنوان 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 (Averill & Tiedje 1982).



دنیتریفیکاتورهای هتروتروف به عنوان مهم‌ترین دنیتریفیکاتور در طبیعت شناخته می‌شوند و ترکیبات کربنی آلی را به‌عنوان دهنده الکترون و

منبعی برای تولید انرژی مصرف می‌کنند. بیوراکتورهای دنیتریفیکاسیون با افزایش منابع کربنی باعث فعالیت بیشتر دنیتریفیکاتورها و در نتیجه افزایش دنیتریفیکاسیون می‌گردند (Schipper et al., 2005).

Greenan و همکاران (2006) از ساقه ذرت، تکه‌های مقوا، خرده چوب همراه روغن و خرده چوب تنها برای مطالعه آزمایشگاهی خود استفاده کردند. ایشان دریافتند که از میان این مواد خرده چوب همراه روغن بیشترین تاثیر را در حذف نیترات داشت. Hashemi و همکاران (2011) از نسبت ۷۰ به ۳۰ درصد حجمی خاک و پوشال جو به عنوان فیلتر استفاده کردند. ایشان توانستند غلظت ۴۰ و ۱۶۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات ورودی را در پایان دوره آزمایش به ترتیب به ۵ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر برسانند. Moghimi و همکاران (2014) در یک مدل آزمایشگاهی باگاس نیشکر را با خاک ترکیب کردند و به عنوان فیلتر در کنار لوله زهکش کار گذاشتند. نتایج نشان داد که میزان نیترات از ۱۶۰ میلی‌گرم در لیتر به ۶۰ میلی‌گرم در لیتر یعنی در حدود بیش از ۵۰ درصد کاهش یافت.

همانطور که ذکر گردید تا کنون از مواد مختلفی از جمله خاک اره، کمپوست و پوست درختان به عنوان دیواره کربنی در بیوراکتور استفاده شده است، ولی در مطالعات انگشت شماری (Bock et al., 2015; Christianson et al., 2011)

از بیوچار^۱ به عنوان دیواره کربنی در بیوراکتور

^۱- Biochar

خروجی در بیوراکتورهای حاوی بیوچار تا ۹۴ درصد کاهش یافت در حالی که این کاهش در بیوراکتور شاهد تا ۱۳ درصد بود.

هدف از این تحقیق مقایسه عملکرد فیلترهای کربنی پر شده با مواد کربنی خام و فیلترهای کربنی پر شده با زغال زیستی (بیوچار) است. به عبارتی دیگر، هدف از این مطالعه بررسی کاربرد بیوچار تهیه شده از پوشال گندم به جای بستر کربن در بیوراکتور دنیتریفیکاسیون و بررسی تاثیر آن در حذف نیترات از زه‌آب‌های آلوده به نیترات می‌باشد. همانطور که اشاره شد، درصد کربن موجود در بیوچار نسبت به سایر مواد کربنی خام بیشتر است. همچنین در مطالعات پیشین به نقش بیوچار در افزایش فعالیت باکتری‌ها اشاره شده است (Yoshizawa *et al.*, 2005). لذا انتظار می‌رود بیوچار به دلیل دارا بودن مقادیر بالای کربن قابل دسترس باکتری‌های دنیتریفیکاتور، سبب افزایش فعالیت این باکتری‌ها شده و در مقایسه با مواد کربنی خام منجر به حذف بیشتر نیترات از محلول‌های آبی گردد.

۲. مواد و روش‌ها

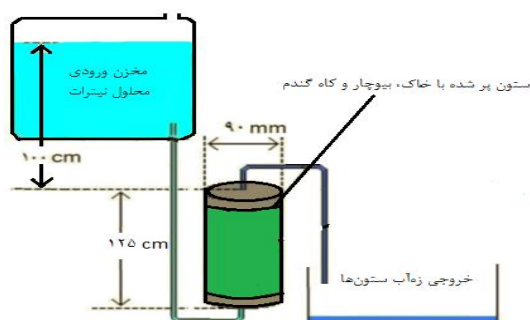
به منظور آماده سازی بیوراکتورهای حذف نیترات همان‌گونه که در شکل (۱) دیده می‌شود از لوله‌های پلی اتیلن با قطر ۹ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۲۵ سانتی‌متر استفاده شد. یک طرف این ستون‌ها با استفاده از کلاهک‌های پلی اتیلنی آب بندی و طرف دیگر آن پس از پر کردن ستون با ترکیب‌های مختلف خاک، پوشال گندم و بیوچار، با استفاده از کلاهک‌هایی

استفاده شده است. بیوچار زغال تهیه شده از زیست توده گیاهی و ضایعات کشاورزی تحت شرایط اکسیژن محدود است. در فرآیند تهیه این زغال دی‌اکسید کربن در اتمسفر آزاد نمی‌شود و از این رو غنی از کربن است. از ویژگی‌های این ماده می‌توان به ساختار متخلخل، چگالی کم، نیمه عمر طولانی (۱۰۰ تا ۱۰۰۰ سال) ظرفیت تبادل کاتیون و سطح تماس زیاد آن اشاره کرد (Lehmann *et al.*, 2005). 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 پرداخته‌اند (Beesley *et al.*, 2011) همچنین ثابت شده است که حضور بیوچار در خاک جذب کاتیون‌های نیترات، آمونیوم و فسفات را افزایش می‌دهد (Lehmann *et al.*, 2006; Kalita *et al.*, 2006). Christianson و همکاران (2011) دو ترکیب مختلف از بیوچار تهیه شده از برگ کاج (۷ و ۱۴ درصد وزنی) را با خاک و چوب مخلوط کرده و تاثیر آن بر حذف نیترات را مورد بررسی قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد، بین ستون شاهد که فقط با چوب و خاک پر شده بود و ستون‌های تیمار که در آن‌ها بیوچار نیز به کار رفته تفاوت معنی داری وجود ندارد. Bock و همکاران (2015) در یک مطالعه آزمایشگاهی (Bock *et al.*, 2015) 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

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.

سیستم انتقال آب از مخزن اولیه به ستون‌ها شامل دو مخزن بود. محلول ورودی در یک مخزن ۱۰۰۰ لیتری که در پشت بام آزمایشگاه قرار داشت آماده می‌گردید. محلول از این مخزن به صورت ثقلی وارد مخزنی که سطح آب در آن با انتهای ستون‌ها ۱۰۰ سانتیمتر اختلاف داشت وارد و توسط شناوری ثابت نگهداشته می‌شد و سپس به وسیله لوله ۱۶ میلیمتری به ستون‌ها منتقل می‌گردید.

بسته شد. در پایین و بالای این ستون‌ها سوراخ‌هایی به قطر ۱۲/۷ میلی‌متر ایجاد شد تا آب از این طریق به ستون‌ها وارد و از آن خارج گردد. به دلیل اینکه حرکت مواد کربنی و خاک باعث گرفته شدن ورودی و خروجی ستون‌ها نگردد، قبل و بعد از پر کردن 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 از مخلوط خاک، پوشال گندم و بیوچار استفاده گردید. 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 اینکه از حرکت ذرات خاک جلوگیری شود، بتوان شرایطی مشابه با شرایط مزرعه را ایجاد نمود. به منظور



شکل ۱. شماتیک بیوراکتور حذف نیترات

خاک مورد آزمایش از الک شماره ۱۰ عبور داده شد. سپس پوشال گندم، بیوچار تهیه شده از پوشال گندم و خاک با نسبت‌هایی که در جدول (۱) ارائه شده است، با یکدیگر ترکیب شده و برای پر کردن ستون‌ها مورد استفاده قرار گرفتند.

بیوچار مورد استفاده در این مطالعه از پوشال گندم تهیه گردید. برای این منظور ابتدا پوشال گندم

از آنجایی که این فیلترها در عمق زمین نصب می‌گردند و میکروارگانیسم‌های لایه زیرین خاک با سطح آن متفاوت می‌باشند، لذا 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. برای پر کردن ستون‌ها ابتدا

اختلاطها سعی شده است درصد اختلاطها به گونه‌ای انتخاب شوند که نتایج بدست آمده از این تحقیق با نتایج تحقیقات پیشین قابل مقایسه باشد (Hashemi et al., 2011 & Moghimi et al., 2014). از آنجا که هدف از این تحقیق مقایسه عملکرد فیلترهای کربنی پرشده با مواد کربنی خام و فیلترهای کربنی پر شده با زغال زیستی (بیوچار) است. لذا ستون شاهد با ۷۰ درصد خاک و ۳۰ درصد مواد کربنی خام (بدون بیوچار) پر گردید.

در هوای آزاد خشک و سپس به قطعات ۲ سانتی متری خرد گردید. سپس در داخل کوره ای که برای این منظور تدارک دیده شده بود، مواد خام را ریخته و در دمای ۵۰۰ درجه سانتی گراد بیوچار تولید گردید.

جهت بررسی شدت حذف نیترات در بیوراكتور پر شده با بیوچار در مقایسه با بیوراكتور پر شده با مواد کربنی خام و همچنین بررسی تاثیر افزایش مقدار بیوچار در میزان حذف نیترات فاکتور اختلاط خاک، پوشال گندم و بیوچار در سطوح مختلف مشابه جدول (۱) مورد بررسی قرار گرفت. در انتخاب درصد

جدول ۱- نسبت اختلاط مواد مختلف جهت پر کردن بیوراكتور

نسبت اختلاط مواد مختلف جهت پر کردن بیوراكتور (درصد حجمی)			تیمار
بیوچار	پوشال گندم	خاک	
۰	۳۰	۷۰	B0 (شاهد)
۱۰	۲۰	۷۰	B1
۱۵	۱۵	۷۰	B2
۲۰	۱۰	۷۰	B3
۳۰	۰	۷۰	B4

در لیتر) به نحوی انجام می‌شد که غلظت نیترات در محلول ورودی ۲ مخزن در ۲ سطح ۴۰ و ۱۶۰ میلی گرم در لیتر ثابت بماند.

نمونه برداری از محلول ورودی و خروجی ستون‌های آزمایشگاهی به مدت ۴ ماه به صورت دو هفته یک بار توسط بطری‌های پلاستیکی تمیز انجام گرفت. نمونه‌ها تا زمان اندازه‌گیری در دمای کمتر از ۴ درجه سانتی‌گراد و در یخچال نگهداری می‌شدند. که این زمان برای برخی نمونه‌ها به یک ماه نیز می‌رسید. برای اندازه‌گیری نیترات از دستگاه اسپکتوفتومتری با طول موج ۴۱۰ نانومتر استفاده

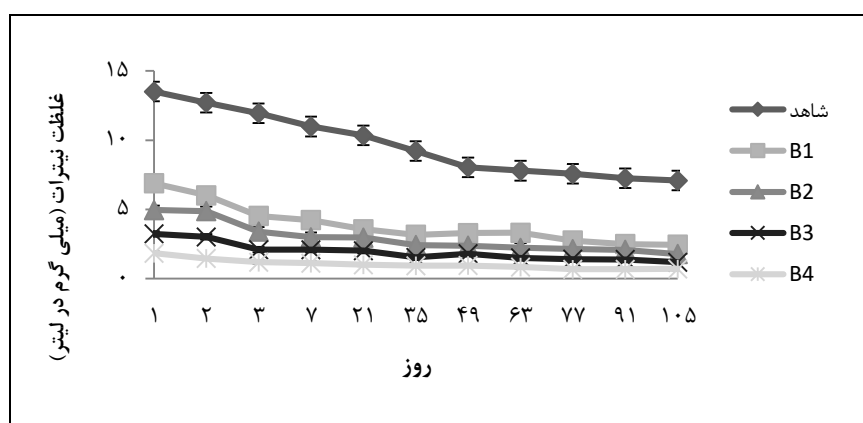
به منظور بررسی تأثیر غلظت نیترات ورودی بر عملکرد فیلترهای کربنی، از ۲ سطح غلظت ۴۰ و ۱۶۰ میلی گرم در لیتر نیترات استفاده شد. برای آماده سازی محلول‌های مورد نظر به ترتیب ۶۵/۲۲ و ۲۶۰/۸۸ میلی گرم نیترات پتاسیم (KNO₃) در یک لیتر آب حل گردید (Hashemi et al., 2011). این غلظت‌ها به منظور بررسی تأثیر غلظت نیترات بر عملکرد بیوراكتور در غلظت کمتر و غلظت بالاتر از حد استاندارد نیترات در آب آشامیدنی انتخاب گردیدند. آماده‌سازی محلول ورودی به صورت روزانه و با توجه به غلظت نیترات آب شهری (۸ میلی گرم

غلظت نیترات خروجی برای تیمارهای C1 (غلظت ۴۰ میلی گرم در لیتر نیترات ورودی) و C2 (غلظت ۱۶۰ میلی گرم در لیتر نیترات ورودی) را از ستون‌های آزمایشگاهی در طول ۴ ماه نمونه برداری نشان می‌دهد. شکل (۴) و (۵) روند تغییرات درصد نیترات حذف شده برای تیمارهای C1 و C2 را در طول دوره آزمایش نشان می‌دهند. جدول (۲) و (۳) به ترتیب تجزیه واریانس منبع تغییرات و مقایسه میانگین را برای غلظت نیترات خروجی از ستون‌های آزمایش را نشان می‌دهند.

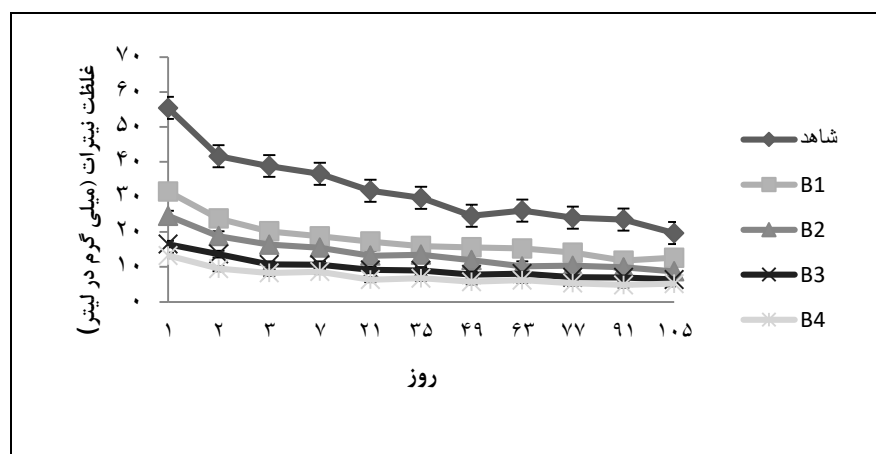
گردید. دمای محیط در طول آزمایش برابر 21 ± 1 درجه سانتی‌گراد بود.

۳. نتایج

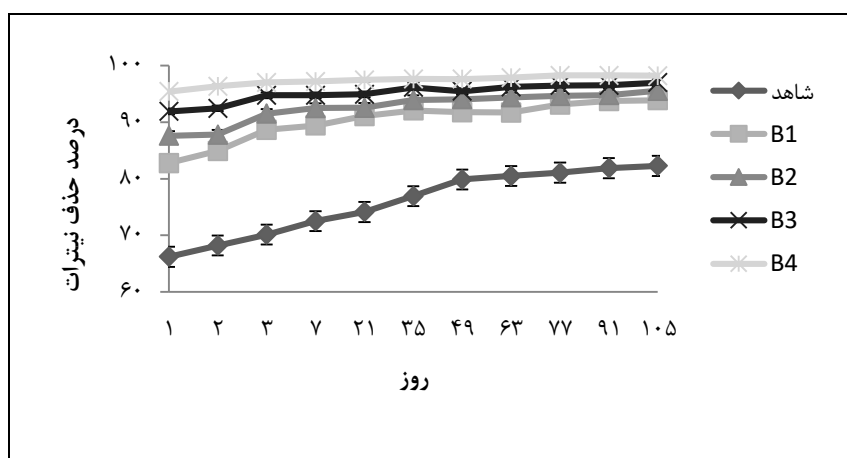
به منظور مقایسه عملکرد بیوراکتور پر شده با بیوجار و بیوراکتور پر شده از مواد کربنی خام، ستون‌هایی به عنوان شاهد با مخلوط خاک و پوشال گندم پر شدند. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد. و نتایج ارائه شده از میانگین نتایج به دست آمده از سه تکرار می‌باشد. شکل (۲) و (۳) به ترتیب روند تغییرات



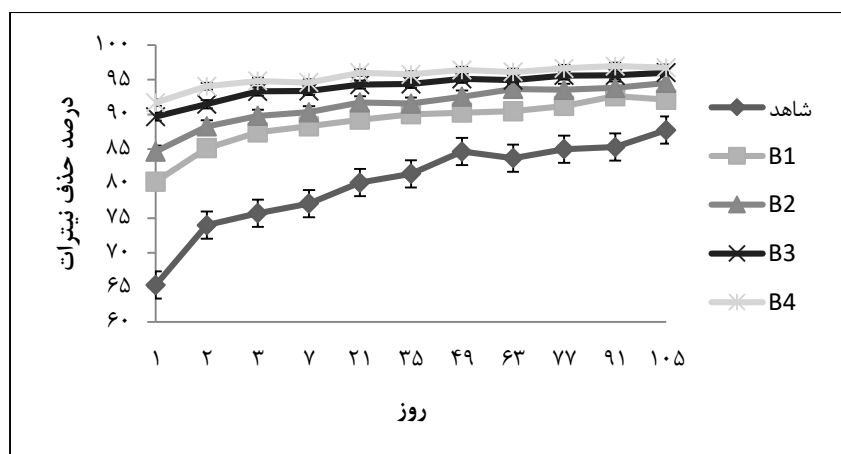
شکل ۲. روند تغییرات غلظت نیترات خروجی در طول دوره آزمایش برای تیمارهای C1



شکل ۳. روند تغییرات غلظت نیترات خروجی در طول دوره آزمایش برای تیمارهای C2



شکل ۴. روند تغییرات درصد نیترات حذف شده در طول دوره آزمایش برای تیمارهای C1



شکل ۵. روند تغییرات درصد نیترات حذف شده در طول دوره آزمایش برای تیمارهای C

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات)

میانگین مربعات	درجه آزادی	منبع تغییرات
**۱۸۴/۴۸	۱	غلظت نیترات ورودی
**۲۴۶۵/۶۰	۴	درصد بیوچار
**۳۰۲/۰۳	۱۰	زمان
۱/۳۹	۴	درصد بیوچار × غلظت نیترات ورودی
*۳/۷۹	۱۰	زمان × غلظت نیترات ورودی
**۲۷/۰۵	۴۰	زمان × درصد بیوچار
۱/۱۹	۴۰	زمان × درصد بیوچار × غلظت نیترات ورودی
۱/۲۲	۲۲۰	خطای آزمایشی
۱/۳۴	-	ضریب تغییرات

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

جدول ۳- مقایسه میانگین‌ها

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD فاقد اختلاف آماری معنی‌دار ($p \leq 0/05$) هستند.

تیمارهای آزمایش		درصد بیوچار (حجمی)	زمان (روز)	میانگین درصد نیترات حذف شده
۹۱/۴۰	a			۴۰ میلی گرم در لیتر
۸۹/۹۰	b			۱۶۰ میلی گرم در لیتر
۸۰/۷۶	e	شاهد (۰ درصد بیوچار)		
۸۹/۵۴	d	۱۰ درصد بیوچار		
۹۱/۹۸	c	۱۵ درصد بیوچار		
۹۴/۵۶	b	۲۰ درصد بیوچار		
۹۶/۴۲	a	۳۰ درصد بیوچار		
۸۳/۵۵	i		۱	
۸۶/۶۹	h		۲	
۸۹/۲۸	g		۷	
۸۹/۹۳	f		۲۱	
۹۰/۷۸	e		۳۵	
۹۱/۶۵	d		۴۹	
۹۲/۲۲	c		۶۳	
	d			
۹۲/۴۵	c		۷۷	
۹۳/۲۳	b		۹۱	
۹۳/۴۴	a		۱۰۵	
	b			
۹۳/۹۸	a		۱۱۹	

۴. بحث و نتیجه گیری

مطابق شکل شکل (۲) و (۳) در همه تیمارهای C1 یک روز پس از شروع آزمایش غلظت نیترات خروجی به کمتر از ۲ میلی گرم در لیتر و در پایان دوره نمونه برداری به کمتر از ۱ میلی گرم در لیتر کاهش پیدا کرد. که نشان دهنده عملکرد بالای بیوچار در حذف نیترات می باشد. این در حالی است که در تیمار شاهد غلظت نیترات خروجی یک روز پس از شروع

آزمایش به ۱۳/۵ میلی گرم در لیتر و در پایان دوره نمونه برداری تا ۷ میلی گرم در لیتر کاهش یافته است.

تیمارهای C2 نیز توانستند به خوبی میزان غلظت نیترات خروجی را کاهش دهند. همانطور که در شکل (۳) مشاهده می شود غلظت نیترات خروجی یک روز پس از شروع آزمایش به کمتر از ۱۳/۲ میلی گرم در لیتر و در پایان دوره آزمایش به کمتر از ۵/۲ میلی گرم در لیتر کاهش پیدا کرد. در تیمار شاهد C2

در تیمار شاهد (۸۰/۷۶ درصد) مشاهده شد. Bock و همکاران (2015) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. نتایج مطالعات ایشان نشان داد غلظت نیترا ت خروجی در بیوراکتورهای حاوی بیوچار تا ۹۴ درصد کاهش یافت درحالی که این کاهش در بیوراکتور شاهد (بدون بیوچار) تا ۱۳ درصد بود. با این حال Christianson و همکاران (2011) بیان کردند کاربرد بیوچار به میزان ۷ و ۱۴ درصد وزنی در بیوراکتور دنیتریفیکاسیون تفاوت معنی داری در میزان حذف نیترا ت ایجاد نمی کند.

این نتایج ضد و نقیض ممکن است به دلایل مختلفی از جمله ماده اولیه ای که بیوچار از آن تهیه شده، دمای تهیه بیوچار، اندازه بیوچار و درصد کاربرد آن در بیوراکتور مشاهده شده باشد. نتایج این مطالعه نشان داد، کاربرد بیوچار پوشال گندم در بیوراکتور دنیتریفیکاسیون در مقایسه با کاربرد پوشال گندم باعث افزایش حذف نیترا ت می گردد. با افزایش درصد حجمی بیوچار تا ۳۰ درصد، حذف نیترا ت هم به طور معنی داری افزایش می یابد. با افزایش غلظت نیترا ت ورودی علی رغم افزایش میزان حذف نیترا ت، درصد حذف نیترا ت ورودی کاهش یافت. در طول دوره ۴ ماهه آزمایش درصد حذف نیترا ت افزایش یافت به طوری که در پایان دوره نمونه برداری، ستون های حاوی بیوچار توانستند تا ۹۸ درصد نیترا ت ورودی را از محیط حذف نمایند. که این نتایج با نتایج بدست آمده توسط Bock و همکاران (2015) که توانستند غلظت نیترا ت خروجی در بیوراکتورهای حاوی بیوچار را تا ۹۴ درصد کاهش دهند تطابق دارد.

غلظت نیترا ت خروجی یک روز پس از شروع آزمایش به ۵۵/۴۵ میلی گرم در لیتر و در پایان دوره نمونه برداری تا ۱۹/۶۵ میلی گرم در لیتر کاهش یافته است. در حالی که Moghimi و همکاران (2014) با استفاده از باگاس نیشکر توانستند غلظت ۱۶۰ میلی گرم در لیتر نیترا ت را در پایان دوره نمونه برداری به ۶۰ میلی گرم در لیتر برسانند. شکل های (۴) و (۵) نشان می دهند که تغییرات حذف نیترا ت در همه تیمارها روند صعودی داشته و این روند در تیمارهای مختلف متفاوت است.

در کل دوره درصد حذف نیترا ت در تیمار C1 بیشتر از تیمار C2 بود. مطابق جدول (۳) اثر غلظت نیترا ت ورودی بر درصد حذف نیترا ت معنی دار بوده و میانگین درصد حذف نیترا ت در تیمار C2 کمتر از تیمار C1 و به ترتیب ۸۹/۹۰ و ۹۱/۴۰ درصد بود. Christianson و همکاران (2012)، Bock و همکاران (2015) و همچنین Hashemi و همکاران (2011) نیز دریافتند غلظت اولیه نیترا ت اثر معنی داری در میزان حذف نیترا ت دارد. همانطور که در شکل های (۴) و (۵) مشاهده می گردد، درصد حذف نیترا ت در تیمارهای شاهد C1 و C2 پس از گذشت ۴ ماه به ترتیب به ۸۲/۳ و ۸۷/۷ درصد می رسد. این در حالی است که در تیمارهای B4C1 و B4C2 این مقدار به ترتیب تا ۹۸/۲ و ۹۶/۷ درصد افزایش می یابد. درصد حذف نیترا ت در بیوراکتورهای دنیتریفیکاسیون به طور معنی داری تحت تاثیر درصد بیوچار به کار رفته در آنها قرار گرفت و بیشترین میانگین مقدار آن در ستون های حاوی ۳۰ درصد بیوچار (۹۶/۴۲ درصد) و کمترین میانگین مقدار آن

۵. تشکر و قدردانی

پردیس ابوریحان است. نگارندگان مقاله از حمایت‌های دانشگاه و همچنین مسئولین و اساتید محترم تشکر و قدردانی می‌نمایند.

این مقاله بخشی از پایان نامه دوره دکتری تخصصی در رشته آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران،

References

- Averill, B.A., and J.M. Tiedje. 1982. The chemical mechanism of microbial denitrification. *FEBS Lett.* 138:8–12. doi:10.1016/0014-5793(82)80383-9
- Beesley, L., M. Marmiroli. 2011. The immobilisation and retention of soluble arsenic, cadmium and zinc by biochar. *Environmental Pollution* 159, 474e480.
- Bock, E., N. Smith, M. Rogers, B. Benham, and Z.M. Easton. 2015. Enhanced Nitrate and Phosphate Removal in a Denitrifying Bioreactor with Biochar. *J. Environ. Qual.* 44:605–613.
- Bock, E.M, B. Coleman, and Z.M. Easton. 2015. Effect of Biochar on Nitrate Removal in a Pilot-Scale Denitrifying Bioreactor. *J. Environ. Qual.* 44:605-613
- Christianson, L. Hedley, M., Camps, M., Free, H. and S. Sagar. 2011. Influence of biochar amendments on denitrification bioreactor performance. www.massey.ac.nz/flrc/workshops/11/Manuscripts.
- Christianson, L., A. Bhandari, M. Helmers, K. Kult, T. Sutphin, and R. Wolf. 2012. Performance Evaluation of Four Field-Scale Agricultural Drainage Denitrification Bioreactors in Iowa. *Trans. ASABE* 55:2163-2174. doi:10.13031/2013.42508
- Greenan CM, Moorman TB, Kaspar TC, Parkin TB, Jaynes DB. 2006. Comparing carbon substrates for denitrification of subsurface drainage water. *J. Environ. Qual.* 35, 824-829.
- Greenan, C. M., T. B. Moorman, T. C. Kaspar, T. B. Parkin, and D. B. Jaynes. 2006. Comparing carbon substrates for denitrification of subsurface drainage water. *J. Environ. Qual.* 35(3): 824-829.
- Hashemi, S.E., M. Heidarpour, B. Mostafazade. 2011. "Assessment of nitrate reduction in two different usage of biofilters in underground drainage systems, *Journal of irrigation science and engineering*, Vol. 34, No. 2., pp 71 – 81. in Persian.
- Kalita, P.K., A.S. Algoazany, J.K. Mitchell, R.A.C. Cooke, and M.C. Hirschi. 2006. Subsurface water quality from a flat tile-drained watershed in Illinois, USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 115.
- 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.
- Lehmann, J., Gaunt, J., Rondon, M., 2005a. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems- a review. *Mitigation and adaptation strategies for global change*.
- Moghimi, N., A. Naseri, A. Soltani mohamadi, S.E. Hashemi, 2014. "Assessment using Bagasse of Sugar cane on nitrate reduction of underground drainage water", 2nd International Symposium on Iran environment researches., Shahid Mofateh faculty, Hamedan, Iran.
- Randal, G. W., J. A. Vetsch and J.R. Huffman. 2003. Nitrate Losses in Subsurface Drainage from a Corn-Soybean Rotation as Affected by Time of Nitrogen Application and Use of Nitrapyrin. *J. Environ. Qual.* 32(5): 1764-1772.
- Schipper, L.A., G.F. Barkle, and M. Vojvodic-Vukovic. 2005. Maximum rates of nitrate removal in a denitrification wall. *Journal of Environmental Quality* 34:1270-1276.
- Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K.Y., Downie, A., Rust, J., Joseph, S., Cowie, A., 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant Soil* 327, 235–246.
- Wildman, T.A. 2001. Design of field-scale bioreactors for bioremediation of nitrate in tile drainage effluent. M. S. thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana-Champaign.
- Yoshizawa, S., Tanaka, M., Ohata, S., Mineki, S., Goto, K., Fujioka and T., Kokubun. 2005. Composting of Food Garbage and Livestock Waste Containing Biomass Charcoal. *Proceedings of the International Conference and Natural Resources and Environmental Management 2005*, Kuching, Sarawak.