

## بررسی اثر کاربرد کاه جو به عنوان فیلتر آلی برای کاهش نیترات آب زهکشی

شهاب انصاری<sup>۱\*</sup>، منوچهر حیدرپور<sup>۲</sup> و سید فرهاد موسوی<sup>۳</sup>

### چکیده

در سال‌های اخیر نیترات یکی از مهم‌ترین منابع آلاینده آب و خاک گزارش شده که عمده‌ترین دلیل آن آب‌شویی کودهای ازته کشاورزی است. از سوی دیگر کاهش شدید منابع آب، تصفیه و استفاده دوباره از آب زهکشی را ایجاب می‌کند. پس هدف از این بررسی کاهش غلظت نیترات آب با استفاده از کاه جو به عنوان فیلتر آلی بوده است. کاه جو به دو صورت مخلوط کامل و لایه‌بندی، هر یک در سه سطح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی با خاک رس شنی ترکیب و کیفیت آب ورودی و خروجی به تیمارها در طول زمان ارزیابی شد. بر اساس نتایج میزان اختلاط بهینه کاه جو با خاک برای تیمارهای لایه‌بندی و مخلوط کامل به ترتیب برابر ۲۰ و ۳۰ درصد با کارایی حذف نیترات حدود ۸۱ و ۷۷ درصد بود. تغییرات غلظت آمونیوم آب در طول زمان نزولی و روند تغییر اسیدیته و شوری تابع میزان آن‌ها در ورودی بود.

**واژه‌های کلیدی** آلودگی، پوشش آلی زهکشی، کاه جو، نیترات.

**ارجاع:** انصاری ش. حیدرپور م. و موسوی س. ف. ۱۳۹۵. بررسی اثر کاربرد کاه جو به عنوان فیلتر آلی برای کاهش نیترات آب زهکشی. مجله پژوهش آب ایران. ۲۰: ۸۷-۹۶.

۱- کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی، مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳- استاد منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان.

\* نویسنده مسئول: [ansari.sh65@yahoo.com](mailto:ansari.sh65@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۶/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۱۴

## مقدمه

امروزه با پیشرفت بشر و نیاز به آب و غذای بیشتر، کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژنه افزایش یافته است. براساس پژوهش‌های گذشته، نیترات به دلیل قابلیت حلالیت بسیار بالا، عدم نگهداشت توسط خاک در صورت کاربرد زیاد و همچنین آبیاری بیش از حد، به راحتی به خارج از ناحیه ریشه حرکت و با سیستم‌های زهکشی آبشویی می‌شود. هم اکنون این قضیه یک نگرانی بین‌المللی بوده و یکی از مهم‌ترین آلاینده‌ها در منابع آب زیرزمینی نیتروژن محلول به فرم نیترات است. از جمله مطالعات ذکر شده در این رابطه می‌توان به مطالعات قیصری و همکاران (۱۳۸۶) در اصفهان، الهامی‌فر و همکاران (۱۳۸۵) در خوزستان و جلالی (۲۰۰۵) در همدان و پژوهش‌های کار و همکاران (۲۰۰۱) و بخش و همکاران (۲۰۰۵) در امریکا و سونگ و همکاران (۲۰۰۹) در چین اشاره کرد. اصلاح آلودگی نیترات دارای روش‌های متفاوتی از جمله روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک است که هر یک به تناسب موقعیت، شرایط، مواد و ابزارهای در دسترس در زمان‌ها و مکان‌های مختلف استفاده می‌شود. بر اساس بررسی‌های ترابیان و همکاران (۱۳۸۵) و اشمیت و همکاران (۲۰۰۳) تصفیه بیولوژیک روش جدیدی است که از مواد آلی، برای تأمین کربن و تحریک میکرو ارگانیسم‌های خاک جهت افزایش فرایند دنیتریفیکاسیون و حذف نیترات استفاده می‌کند. به دلیل کاهش خطرات زیست‌محیطی و عدم اثرات جانبی، سهولت کاربرد و قیمت مناسب برای استفاده در سطح وسیع، در سال‌های اخیر از این روش استقبال زیادی شده است. این روش مشکل دفع لجن نامطلوب تولیدی در روش‌هایی همچون الکترودیالیز و اسمز معکوس را ندارد همچنین نه فقط به تجهیزات پیچیده نیازمند نیست، بلکه هزینه‌های چشم‌گیر آن روش‌ها را نیز در پی ندارد. از آن جمله پژوهش‌های ذکر شده می‌توان به این موارد اشاره کرد: هاشمی و همکاران (۱۳۸۸)، از ذرات چوب درخت توسکا برای حذف نیترات آب زهکشی استفاده کردند و اعلام نمودند این ماده سبب کاهش غلظت نیترات از ۴۰ به کمتر از ۲۰ میلی‌گرم در لیتر می‌شود. واقعی و همکاران (۱۳۸۹) قابلیت یک راکتور از نوع بیوفیلتر هیدروژنی برای حذف نیترات از آب شرب را بررسی کردند. نتایج در مورد یک چاه با غلظت نیترات

۱۲۰ میلی‌گرم در لیتر نشان داد بعد از ۱۶۰ روز میزان حذف نیترات به حدود ۹۵٪ درصد رسید. هاشمی و همکاران (۲۰۱۱)، ذرات چوب، سیوس برنج و برگ درخت خرما را برای تحریک دنیتریفیکاسیون میکروبی به کار بردند. نتایج آن‌ها نشان داد برگ درخت خرما، سیوس برنج و ذرات چوب به ترتیب بیشترین کارایی را در حذف نیترات دارند. هرناندز و همکاران (۲۰۰۸) از پوست درخت کاج و الیاف نارگیل برای حذف فلزات و نیترات از لجن فاضلاب استفاده کردند. پژوهش‌های آن‌ها نشان داد پوست درخت کاج کارایی بیشتری در زمینه حذف نیترات داد. ناماسیویام و همکاران (۲۰۰۸) از الیاف نارگیل به عنوان بیوراکتور برای حذف آنیون‌های آلاینده آب استفاده کردند، ایشان میزان کارایی این ماده را به ویژه برای نیترات بسیار رضایت‌بخش توصیف کردند. وانگ و همکاران (۲۰۰۹) بیوراکتورهای پایه فیبر را برای حذف آلودگی نیتراتی به کار بردند. آن‌ها نشان دادند که حذف نیترات در این روش حدود ۹۹٪ است. چون و همکاران (۲۰۰۹) بیوراکتورهایی بر پایه خرده چوب را برای حذف نیترات از آب زهکشی به کار بردند. نتایج پژوهش‌های آن‌ها نشان داد که در شرایط مختلف، میزان نیترات از ۴۰ تا ۱۰۰ درصد در زه‌آب کاهش یافته است. لذا در راستای کاهش هزینه و مشکلات زیست‌محیطی رفع آلودگی آب زهکشی در روش‌های قبلی، در این طرح از کاه جو به عنوان منبع کربن آلی جهت افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک در راستای تشدید دنیتریفیکاسیون و کاهش نیترات آب زهکشی استفاده شده است. شایان ذکر است کاه جو در پژوهش‌های قبلی بررسی نشده (به ویژه به روش لایه‌بندی) و در اینجا به دلیل قیمت کم، در دسترس بودن آن در نقاط مختلف و سهولت کاربرد در این روش بررسی واقع شد.

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش کاه جو با اندازه ذرات بین ۸ تا ۱۲ میلی‌متر با خاک رس شنی به دو صورت مخلوط کامل (M) و لایه‌بندی (L) و هر یک در چهار سطح صفر (شاهد)، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی ترکیب و هر سطح در سه تکرار آزمایش شد. بر همین اساس، نام‌گذاری تیمارها به صورت جدول ۱ مشخص شد.

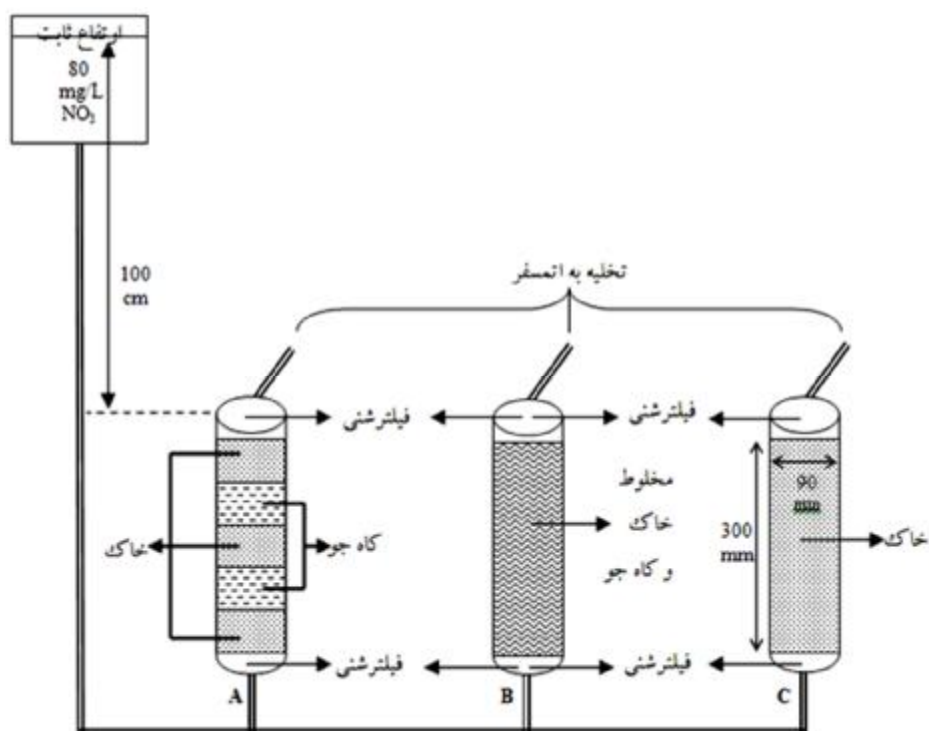
جدول ۱- نحوه نام‌گذاری تیمارهای آزمایشی

۳۰	۳۰	۲۰	۲۰	۱۰	۱۰	شاهد (صفر)	درصد اختلاط
M	L	M	L	M	L	***	نحوه اختلاط

M: مخلوط کامل و L: لایه‌بندی

۹ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. برای جلوگیری از حرکت خاک درون ستون‌ها به درون لوله‌های انتقال آب، در دو سر آن‌ها از لایه شنی با ذراتی به قطر ۲ تا ۵ میلی‌متر و به ضخامت ۲/۵ سانتی‌متر و برای جلوگیری از ورود ذرات شن به درون لوله‌های انتقال آب از فیلتر توری استفاده شد.

مدل مورد نیاز شامل مخزن ذخیره آب از نوع مخازن پنج لایه پلی‌اتیلن و به ظرفیت ۱۰۰۰ لیتر، لوله‌های انتقال آب از جنس پلی‌اتیلن به قطر ۱۶ میلی‌متر و الکتروپمپ مورد نظر به قدرت ۱/۵ اسب بخار و فشار کاری یک اتمسفر بود (شکل ۱) که در آزمایشگاه تحت دمای استاندارد بررسی شد. در مدل مذکور، برای هریک از تیمارهای آزمایشی یک لوله پلی‌اتیلن به طول ۳۵ و قطر



شکل ۱- طرح کلی مدل آزمایشگاهی مورد استفاده: (A: لایه‌بندی، B: مخلوط کامل و C) شاهد

قرار گرفته و به صورت هفتگی دبی خروجی از ستون‌ها و همچنین کیفیت آب ورودی و خروجی تیمارها براساس میزان هدایت الکتریکی، اسیدیته، غلظت نیترات و آمونیوم مشخص شد. داده‌های حاصل به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با نرم‌افزار آماری SAS 9.0 و SPSS 17 تجزیه و تحلیل شد. نتایج تجزیه آب، خاک در جدول ۲ و کاه جو در جدول ۳ نمایش داده شده است.

در این مدل آب از مخزن ذخیره با پمپ به تشت آب وارد شده و از این محل به طور ثقلی وارد ستون‌های تیمارهای مورد آزمایش می‌شد. با گذر زمان و عبور آب از تیمارها، سطح آب تشت پایین افتاده و شناور موتورپمپ را روشن می‌کرد، بلافاصله سطح آب در تشت به ارتفاع ثابت قبلی می‌رسید. این روند به طور ۲۴ ساعته به مدت ۷۷ روز ادامه داشت. در این آزمایش تیمارها تحت آب با آلودگی نیترات به غلظت ۸۰ میلی‌گرم در لیتر (حاصل انحلال نیترات پتاسیم) و اختلاف پتانسیل هیدرولیکی یک متر

جدول ۲- نتایج تجزیه آب و خاک

پارامتر	شوری (dS/m)	اسیدیته	نیتروژن کل (%)	مواد آلی (%)	کربن آلی (%)	نیترات (mg/L)	آمونیموم (mg/L)	شن (%)	سیلت (%)	ریس (%)
خاک	۱/۷	۷/۷۶	۰/۰۹	۰/۶	۰/۳۵	< ۱	< ۰/۰۲	۴۶	۱۸/۵	۳۵/۵
آب	۰/۳۰۰-۰/۶۱۹	۷/۶۱-۷/۹۶	-	-	-	۷۸-۸۱	۰/۲-۰/۴	-	-	-

جدول ۳- نتایج حاصل از تجزیه کاه جو

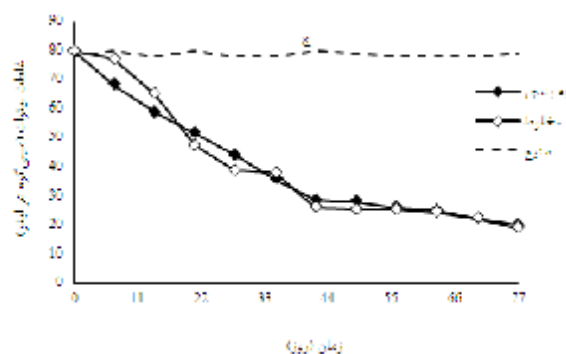
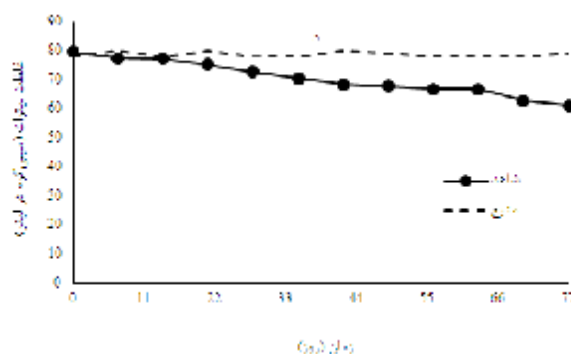
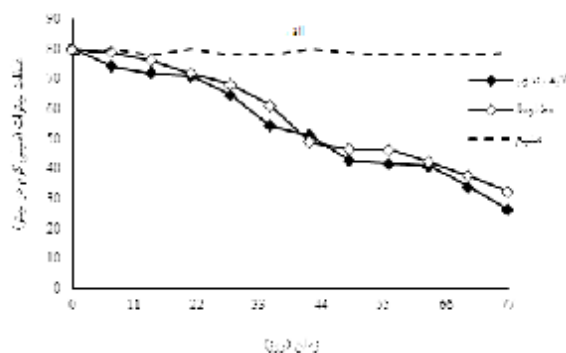
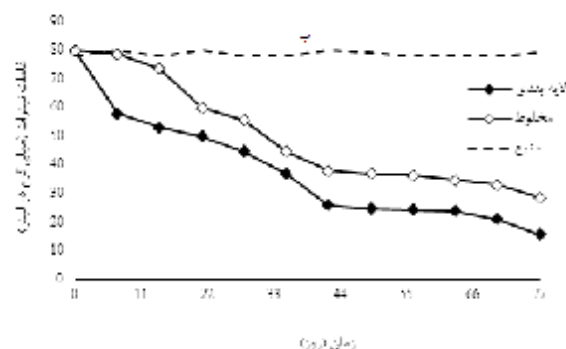
پارامتر	نیتروژن کل (%)	کربن آلی (%)	مواد آلی (%)	سلولز (%)	همی سلولز (%)	لیگنین (%)
مقدار	۱/۴۷	۲۵/۶۸	۴۴/۲۸	۳۱/۱۷	۱۹/۰۱	۲۳/۳۲

نتایج و بحث

تغییرات غلظت نیترات و سرعت خروج آب زهکشی

شکل ۲ تغییرات غلظت نیترات آب زهکشی از ستون‌ها به ترتیب برای تیمارهای لایه‌بندی (L) و مخلوط (M) را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، غلظت نیترات در آب زهکشی از همه تیمارها با افزایش درصد کاه جو و همچنین گذر زمان و با شدت‌های مختلف وابسته به تیمارها کاهش می‌یابد. البته اگرچه به طور تقریبی کمتر

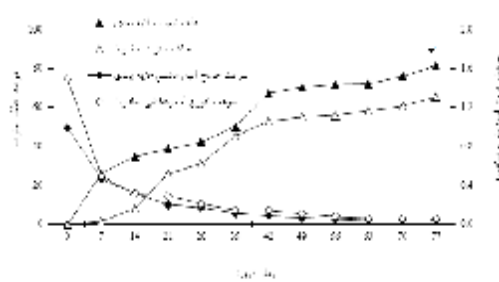
از ۲۵ درصد از غلظت نیترات ورودی با تیمار شاهد کاهش یافته است ولی باید توجه داشت که حذف نیترات در تمامی تیمارها بیشتر از این مقدار بوده است. بر اساس گزارش سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده به طور معمول ۱۰ تا ۴۰ درصد میزان نیتروژن کل آب زهکشی در اثر نفوذ آن در خاک حذف می‌شود. همچنین بدسم و همکاران (۲۰۰۵)، هاشمی و همکاران (۱۳۸۸) و جنسن و همکاران (۱۹۹۰) نیز این مقدار را به ترتیب ۳۱، ۲۵ و ۲۰ درصد اعلام کردند.



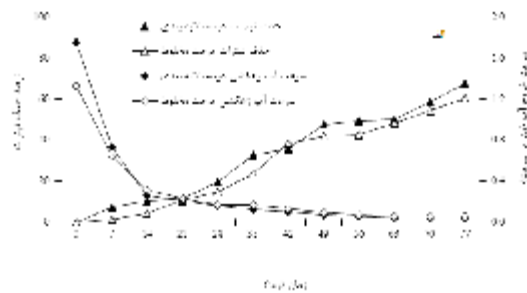
شکل ۲- تغییرات غلظت نیترات آب ورودی و خروجی، الف) ۱۰ درصد کاه جو، ب) ۲۰ درصد کاه جو، ج) ۳۰ درصد کاه جو، د) شاهد (بدون کاه جو)

رسیدند که بیشترین میزان حذف نیترات از آب زهکشی زمانی اتفاق می‌افتد که سرعت خروج آب زهکشی کمتر از ۱/۵ متر بر روز (۰/۰۷ متر بر ساعت) بوده است. براساس شکل ۳ میزان اختلاط بهینه کاه جو با خاک برای تیمارهای لایه‌بندی و مخلوط کامل به ترتیب برابر ۲۰ و ۳۰ درصد و کارایی حذف نیترات این دو تیمار در انتهای آزمایش بالغ بر ۸۱ و ۷۷ درصد بوده است. نظر به میزان استاندارد بین‌المللی و ملی غلظت نیترات که به ترتیب برابر ۴۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر است بسیار مطلوب است. نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به غلظت نیترات نشان داد درصد ترکیب کاه جو، نحوه ترکیب آن با خاک و اثر متقابل این دو همراه با اثر گذر زمان سبب بروز تفاوت معنی‌دار (در سطح ۰/۱) بین تیمارهای مورد آزمایش شده‌اند. در جدول ۴ مقایسه میانگین تیمارهای مورد آزمایش بر اساس اثر درصد ترکیب کاه جو با خاک بر کیفیت آب زهکشی نشان داده شده است. براساس این جدول بین تمامی تیمارها با تیمار شاهد از نظر غلظت نیترات آب زهکشی خروجی تفاوت وجود دارد. این در حالی است که افزایش کاه جو از ۲۰ به ۳۰ درصد سبب بروز اختلاف معنی‌داری بین غلظت نیترات آب زهکشی خروجی نشده است.

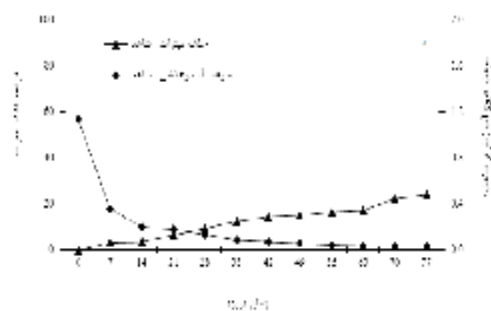
شکل ۳ میزان درصد حذف نیترات را همراه با سرعت آب زهکشی از ستون‌های دارای تیمارهای مختلف نشان می‌دهد. بر این اساس در طول آزمایش درصد حذف نیترات و سرعت آب زهکشی برای تمامی تیمارها به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد. همچنین سرعت خروج آب زهکشی بعد از گذر مدت زمانی به طور تقریبی ثابت می‌شود، که طبیعی است چرا که در سیستم‌های زهکشی نیز بعد از مدت زمانی به دلیل گرفتگی نسبی فیلترها این پدیده رخ می‌دهد، این مسئله در نتایج حاصل از بررسی‌های هاشمی و همکاران (۲۰۱۱) نیز مشاهده می‌شود. همچنین باید متذکر شد که بر اساس شکل مذکور ۳۰ تا ۵۰ درصد (وابسته به تیمار) حذف نیترات در زمانی که میزان سرعت کمتر از ۰/۰۹ متر بر ساعت بوده و تغییرات آن نیز کم است اتفاق می‌افتد. همچنین بزرگ‌ترین میزان کاهش غلظت نیترات در زمانی که سرعت آب کمتر از ۰/۰۶ متر بر ساعت است رخ می‌دهد. سوارز و همکاران (۱۹۹۸) نیز نشان دادند بیشینه مقدار کاهش نیترات در ستون‌هایی که مخلوط کاه گندم و خاک در آن قرار دارد زمانی که سرعت خروج آب کمتر از ۰/۰۵۶ متر بر ساعت باشد اتفاق می‌افتد. هاشمی و همکاران (۲۰۱۱) نیز در پژوهش‌های خود به این نتیجه



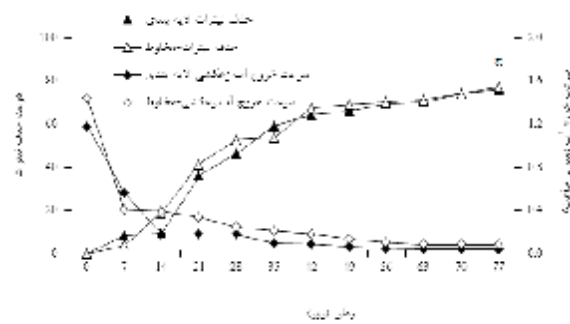
شکل ۳ (ا)



شکل ۳ (ب)



شکل ۳ (ج)



شکل ۳ (د)

شکل ۳- درصد حذف نیترات و سرعت خروج آب زهکشی، الف) ۱۰ درصد کاه جو، ب) ۲۰ درصد کاه جو، ج) ۳۰ درصد کاه جو، د) شاهد (بدون کاه جو)

جدول ۴- اثر درصد ترکیب کاه جو با خاک بر کیفیت آب زهکشی

تیما	شاهد	٪۱۰	٪۲۰	٪۳۰
غلظت نیترات (mg/L)	۷۱ <sup>a</sup>	۵۶ <sup>b</sup>	۴۴ <sup>c</sup>	۴۱ <sup>c</sup>
غلظت آمونیوم (mg/L)	۰/۲۴ <sup>c</sup>	۰/۳۹ <sup>bc</sup>	۰/۵۱ <sup>ab</sup>	۰/۵۸ <sup>a</sup>
اسیدیته	۷/۵۶ <sup>a</sup>	۷/۴۸ <sup>bc</sup>	۷/۴۷ <sup>c</sup>	۷/۵۰ <sup>b</sup>

در هر ردیف تیمارهایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند فاقد اختلاف معنی دار هستند.

جدول ۶ مقایسه میانگین تیمارهای مورد آزمایش را بر اساس اثر متقابل درصد و نحوه ترکیب کاه جو با خاک بر کیفیت آب زهکشی خروجی نشان می‌دهد. بر اساس این جدول چنانچه تیمارها از نظر درصد اختلاط کاه جو با خاک به سه جفت تیمار که هر کدام به ترتیب دارای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد کاه جو هستند طبقه‌بندی شوند فقط بین دو میانگینی که دارای ۲۰ درصد کاه جو هستند از نظر غلظت نیترات اختلاف معنی دار وجود دارد.

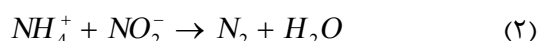
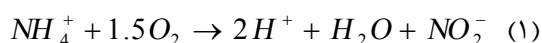
جدول ۵ مقایسه میانگین تیمارهای مورد آزمایش را بر اساس اثر نحوه ترکیب کاه جو با خاک بر کیفیت آب زهکشی خروجی نشان می‌دهد. همان‌طور که در این جدول نشان داده شده است تیمارهای لایه‌بندی شده در حذف نیترات موفق‌تر عمل کرده‌اند.

جدول ۵- اثر نحوه ترکیب کاه جو با خاک بر کیفیت آب زهکشی

تیما	لایه‌بندی	مخلوط کامل
غلظت نیترات (mg/L)	۴۴ <sup>a</sup>	۴۹ <sup>b</sup>
غلظت آمونیوم (mg/L)	۰/۶۱ <sup>a</sup>	۰/۳۸ <sup>b</sup>
اسیدیته	۷/۴۸ <sup>a</sup>	۷/۵۱ <sup>b</sup>

جدول ۶- اثر متقابل درصد و نحوه ترکیب کاه جو بر کیفیت آب زهکشی

تیما	شاهد	۳۰M	۳۰L	۲۰M	۲۰L	۱۰M	۱۰L
غلظت نیترات (mg/L)	۷۱ <sup>a</sup>	۴۱ <sup>d</sup>	۴۰ <sup>d</sup>	۵۰ <sup>c</sup>	۳۹ <sup>d</sup>	۵۸ <sup>b</sup>	۵۴ <sup>bc</sup>
غلظت آمونیوم (mg/L)	۰/۲۴ <sup>c</sup>	۰/۴۱ <sup>bc</sup>	۰/۷۵ <sup>a</sup>	۰/۴۳ <sup>bc</sup>	۰/۶۰ <sup>ab</sup>	۰/۳۱ <sup>c</sup>	۰/۴۸ <sup>abc</sup>
اسیدیته	۷/۵۵ <sup>a</sup>	۷/۴۹ <sup>bc</sup>	۷/۵۰ <sup>b</sup>	۷/۴۹ <sup>bc</sup>	۷/۴۶ <sup>c</sup>	۷/۴۷ <sup>bc</sup>	۷/۴۹ <sup>bc</sup>



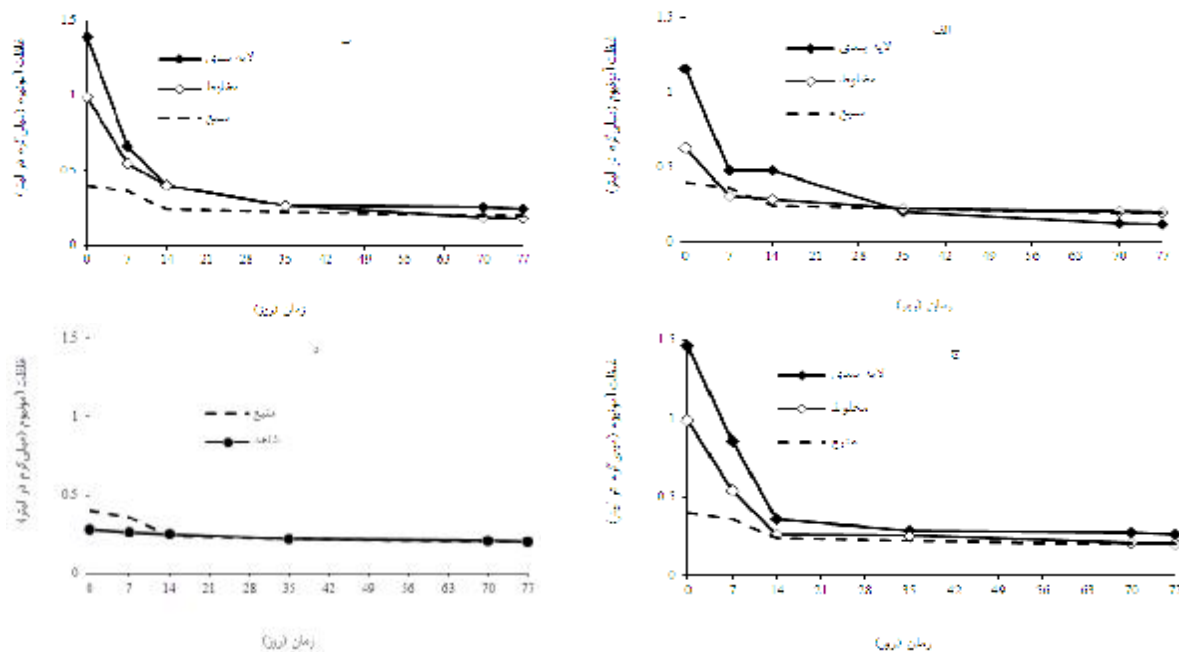
نتایج تجزیه واریانس مربوط به غلظت آمونیوم آب زهکشی خروجی نشان داد که درصد ترکیب، نحوه ترکیب کاه جو با خاک و اثر متقابل این دو سبب ایجاد اختلاف معنی دار (در سطح ۰/۱) بین تیمارها شده‌اند. جدول ۴ مقایسه میانگین تیمارهای مورد آزمایش را بر اساس اثر درصد ترکیب کاه جو با خاک بر غلظت آمونیوم آب زهکشی نشان می‌دهد. همان‌طور که در این جدول نشان داده شده، تیمارهای دارای ۲۰ و ۳۰ درصد کاه جو با تیمار دارای ۱۰ درصد کاه جو و همچنین تیمار شاهد اختلاف معنی داری دارند در حالی که هر دو جفت تیمار مذکور بدون تفاوت قابل دیدن بین میانگین‌های زیر مجموعه خود هستند.

لازم به ذکر است نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به سرعت خروج آب زهکشی از تیمارهای مختلف در کل دوره آزمایش نشان می‌داد که اثر تیمارها بر تغییرات سرعت معنی دار نیست.

### تغییرات غلظت آمونیوم

شکل ۴ غلظت آمونیوم ورودی و خروجی از تیمارهای آزمایشی را نشان می‌دهد. غلظت آمونیوم آب زهکشی خروجی تمامی تیمارها با گذر زمان کم شده است. لی و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که در حذف بیولوژیک نیترات، آمونیوم به دی اکسید نیتروژن و یا گاز نیتروژن تحت شرایط کمبود اکسیژن تبدیل می‌شود. این واکنش‌ها با معادلات (۱) و (۲) توصیف می‌شوند:

مقایسه میانگین تیمارهای مورد آزمایش را بر اساس اثر متقابل درصد و نحوه ترکیب کاه جو با خاک بر غلظت آمونیوم آب زهکشی را نشان می‌دهد. بر این اساس چنانچه تیمارهای دارای میزان مساوی کاه جو به صورت جفت در نظر گرفته شوند فقط بین دو میانگین دارای ۳۰٪ کاه جو اختلاف معنی‌دار دیده می‌شود.



شکل ۴- تغییرات غلظت آمونیوم آب ورودی و خروجی، الف) ۱۰ درصد کاه جو، ب) ۲۰ درصد کاه جو، ج) ۳۰ درصد کاه جو، د) شاهد (بدون کاه جو)

در اسیدیته ۷/۲ تا ۸/۴ رخ می‌دهد. در حالیکه نومیگ (۱۹۵۶) و واکلییوت (۱۹۷۴) بیان کردند مناسب‌ترین میزان اسیدیته برای انجام فرایند دنیتریفیکاسیون بین ۷ تا ۸ بوده و بیشترین میزان دنیتریفیکاسیون در اسیدیته غالب خاک رخ می‌دهد. هرناندز و همکاران (۲۰۰۸) نیز در پژوهش‌های خود با کاربرد پوست درخت کاج و الیاف نارگیل بیان کردند که میزان اسیدیته آب زهکشی در این شرایط در حدود اسیدیته غالب خاک استفاده شده و تغییرات آن در طول زمان از شکل منظمی پیروی نکرده است. نتایج تجزیه واریانس اسیدیته آب زهکشی تیمارهای مختلف نشان داد که درصد ترکیب، نحوه ترکیب کاه جو با خاک و اثر متقابل این دو سبب ایجاد اختلاف معنی‌دار (در سطح ۰/۱٪) بین تیمارها شده‌اند. جدول ۴ مقایسه میانگین تیمارها را براساس اثر درصد ترکیب کاه جو با خاک بر میزان اسیدیته آب زهکشی خروجی در کل دوره آزمایش نشان می‌دهد. همان‌طور که

جدول ۵ مقایسه میانگین تیمارها را براساس اثر نحوه ترکیب کاه جو با خاک بر غلظت آمونیوم آب زهکشی نشان می‌دهد. بر این اساس، تیمارهای لایه‌بندی و تیمارهای مخلوط دارای تفاوت معنی‌داری هستند به طوری که غلظت آمونیوم در آب زهکشی تیمارهای لایه‌بندی کمی بیشتر از تیمارهای مخلوط است. جدول ۶

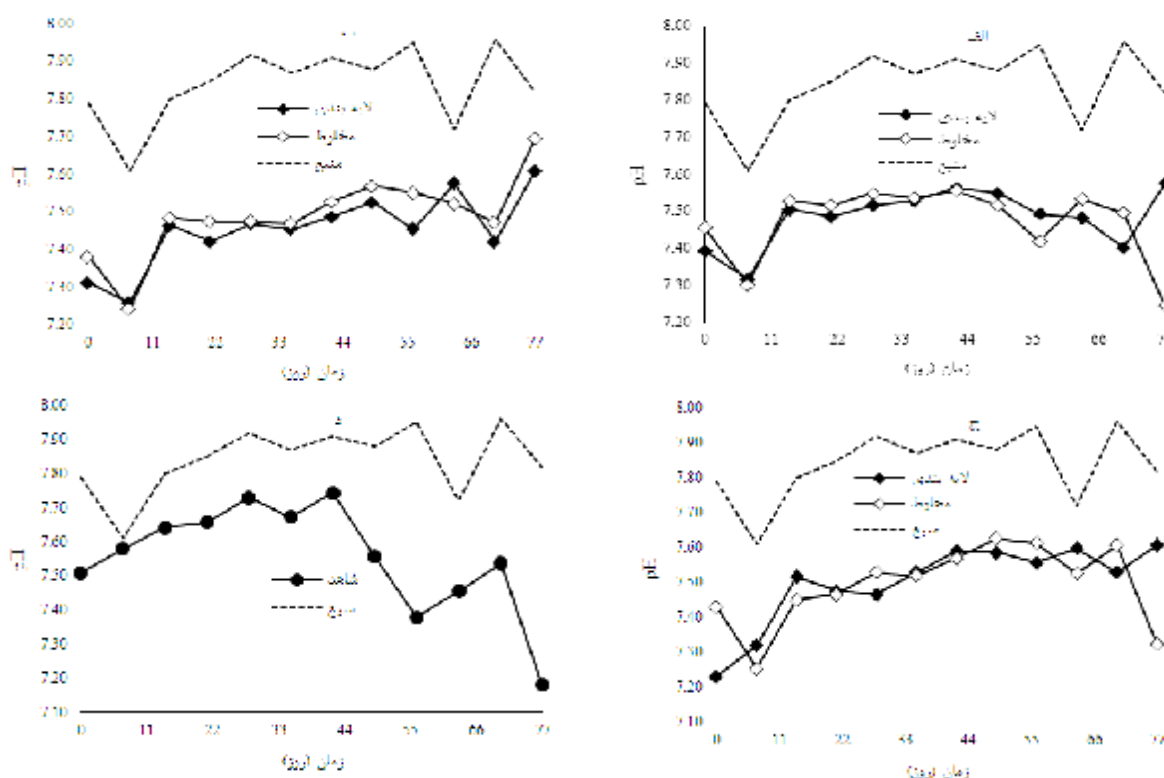
#### نوسانات میزان اسیدیته

شکل ۵ تغییرات اسیدیته آب زهکشی تیمارهای لایه بندی و مخلوط را نشان می‌دهد. هرچند تغییرات اسیدیته برای هیچ یک از تیمارها روند خاصی ندارد ولی در تمامی موارد از تغییرات ورودی پیروی می‌کند. با این تفاوت که میزان خروجی کمتر از میزان ورودی است. مقادیر اسیدیته در آب زهکشی تیمارها بین ۷/۱۸ تا ۷/۹۵ نوسان می‌کند که در حدود اسیدیته عصاره اشباع خاک است. این قضیه شاید به سبب خاصیت بافر بودن خاک است. چرا که اجزای تشکیل دهنده خاک تا حد ممکن در مقابل تغییرات اسیدیته محلول خاک مقاومت نشان می‌دهند. پژوهش‌های ثابت کرده که این محدوده از نوسانات اسیدیته بهترین شرایط را برای انجام دنیتریفیکاسیون میکروبی فراهم می‌کند.

لی و ریتمن (۲۰۰۳) در پژوهش‌های خود اعلام کردند بیشترین حذف نترات در اثر دنیتریفیکاسیون بیولوژیک

لایه‌بندی شده و تیمارهای مخلوط دارای تفاوت معنی‌داری هستند به طوری که اسیدیته خروجی از تیمارهای لایه‌بندی کمتر است. جدول ۶ مقایسه میانگین تیمارها را بر اساس اثر متقابل درصد و نحوه ترکیب کاه جو با خاک بر میزان اسیدیته آب زهکشی خروجی نشان می‌دهد. همان‌طور که نشان داده شده بین تیمار شاهد با بقیه تیمارها از یک سو و بین تیمار ۲۰ و ۳۰٪ لایه‌بندی از سوی دیگر اختلاف معنی‌داری مشاهده می‌شود.

در این جدول نشان داده شده است تیمار شاهد با بقیه تیمارها دارای تفاوت معنی‌دار است، اما بین تیمارهای دارای ۱۰ و ۲۰ درصد کاه جو از یک سو و همچنین بین تیمارهای حاوی ۱۰ و ۳۰ درصد کاه جو از سوی دیگر اختلاف معنی‌داری نیست. جدول ۵ مقایسه میانگین تیمارهای مورد آزمایش را بر اساس اثر نحوه ترکیب کاه جو با خاک بر میزان اسیدیته آب زهکشی خروجی نشان می‌دهد. همان‌طور که نشان داده شده است تیمارهای



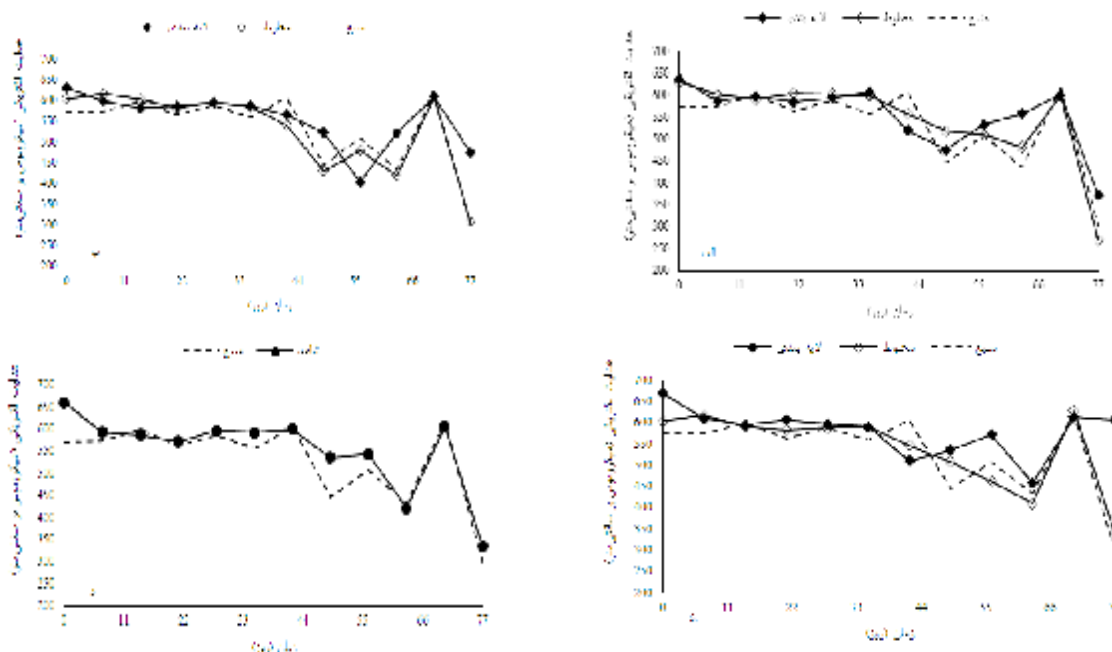
شکل ۵- تغییرات اسیدیته آب ورودی و خروجی، الف) ۱۰ درصد کاه جو، ب) ۲۰ درصد کاه جو، ج) ۳۰ درصد کاه جو، د) شاهد (بدون کاه جو)

پیروی می‌کند. نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به میزان هدایت الکتریکی آب زهکشی خروجی از تیمارهای مختلف نشان داد هیچ یک از منابع تغییرات سبب ایجاد اختلاف معنی‌دار بین تیمارها نشده‌اند. این موضوع در نتایج هراندز و همکاران (۲۰۰۸) نیز دیده می‌شود.

### نوسانات میزان هدایت الکتریکی

شکل ۶ تغییرات میزان هدایت الکتریکی آب زهکشی تیمارهای لایه‌بندی و مخلوط را در کل دوره آزمایش نشان می‌دهد. هرچند تغییرات میزان هدایت الکتریکی در طول زمان برای هیچ یک از تیمارها روند خاصی ندارد ولی در تمامی موارد از تغییرات آن در ورودی (منبع)





شکل ۶- تغییرات هدایت الکتریکی آب ورودی و خروجی ، الف) ۱۰ درصد کاه جو، ب) ۲۰ درصد کاه جو، ج) ۳۰ درصد کاه جو، د) شاهد (بدون کاه جو)

برای حذف نیترات با راندمان بالا در سیستم‌های زهکشی، تغذیه مصنوعی و یا کاربرد دوباره پساب به عنوان آب آبیاری به کار می‌رود.

#### منابع

۱. الهامی فر م.، جعفری س.، گرجی زاده م. و بنی عباسی ن. ۱۳۸۵. بررسی تغییرات غلظت نیترات در آب آبیاری و زه‌آب‌های مزارع نیشکر جنوب اهواز. همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب. ۲۰۲۷-۲۰۳۱.
۲. ترابیان ع.، حسنی ا. ح. و سماک عابدی م. ۱۳۸۵. مقایسه حذف نیترات از آب آشامیدنی به دو روش اسمز معکوس و تبادل یونی. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست. ۲۱-۲۸: (۳)۸.
۳. قیصری م. م.، هودجی م.، نجفی پ. و عبداللهی آ. ۱۳۸۶. بررسی آلودگی نیتراتی آب زیرزمینی ناحیه جنوب شرق شهر اصفهان. مجله محیط شناسی. ۴۲: ۴۳-۵۰.
۴. واقعی ر.، گنجی دوست ح.، عظیمی ع. و آیتی ب. ۱۳۸۹. تصفیه آب‌های شرب آلوده به نیترات با استفاده از دنیتریفیکاسیون اتوتروف در بیوفیلتر

#### نتیجه‌گیری

در این بررسی، حذف بیولوژیک نیترات آب زهکشی با کاربرد کاه جو به میزان ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی (به صورت تیمارهای لایه‌بندی شده و مخلوط) در ستون‌های خاک بررسی شد. تیمارهای لایه‌بندی و مخلوط شده با هم مقایسه شدند زیرا مخلوط کردن کاه جو با خاک در حجم وسیع مورد نیاز در سیستم‌های زهکشی زیرزمینی مزارع کشاورزی مشکل، پرهزینه و نیازمند وسایل پیشرفته است. نتایج نشان دادند که تیمار بهینه در حذف نیترات با راندمان (۸۱ درصد)، تیمار ۲۰٪ لایه‌بندی شده بود. لازم به ذکر است روش مورد استفاده در این پژوهش دنیتریفیکاسیون بیولوژیک بوده و ارتباط نزدیکی با زمان انجام واکنش دارد. بنابراین با کاهش سرعت خروج آب زهکشی، زمان ماند افزایش یافته و سبب افزایش میزان حذف نیترات می‌گردد. غلظت آمونیوم خروجی در تمامی تیمارها با گذر زمان کاهش یافت همچنین تغییرات مقادیر اسیدیته و شوری تیمارها در طول آزمایش روند خاصی نداشتند و به طور تقریبی از روند مقادیر ورودی پیروی می‌کردند اما مقدار آن‌ها نزدیک مقادیر ورودی بود. بنابراین کاه جو به روش لایه‌بندی شده بدون نگرانی در رابطه با اثرات جانبی و خطرات تغییر زیاد در اسیدیته و شوری می‌تواند به عنوان راه حلی عملی و کم هزینه

- decentralized wastewater treatment. *Water Science and Technology*. 53(9): 79-85.
17. Namasivayam C. and Sangeetha D. 2008. Application of coconut coir pith for the removal of sulfate and other anions from water. *Desalination*. 219: 1-13.
  18. Nommik H. 1956. Investigations on denitrification in soil. *Acta Agriculturae Scandinavica* 6: 195-228.
  19. Schmidt I. Sliemers O. and Schmid M. 2003. New concept of microbial treatment processes for the nitrogen removal in wastewater. *FEMS Microbiology reviews*. 27: 481-492.
  20. Soares M. and Abeliovich A. 1998. Wheat straw as substrate for water denitrification. *Water Research*. 32: 3790-3794.
  21. Song Xiao Z. Chang-Xing Z. Xiao-Lan W. and Ji L. 2009. Study of nitrate leaching and nitrogen fate under intensive vegetable production pattern in northern China. *Comptes Rendus Biologies*. 332: 385-392.
  22. Szekeres S. Kiss I. Bejerano T. and Soares M. 2001. Hydrogen-dependent denitrification in a two-reactor bio-electrochemical system. *Water Research*. 35: 136-40.
  23. USEPA. 2002. Design manual: Onsite wastewater treatment systems manual. USEPA Rep 625/R-17 00/008. Office of Water Program Operations.
  24. Van Cleemput O. and Patrick W. H. 1974. Nitrate and nitrite reduction in flooded soil at controlled redox potential and pH. *Transactions of the 10th International Congress of Soil Science*. Moscow. 9: 152-159.
  25. Wang Q. Feng C. Zhao Y. and Hao C. 2009. Denitrification of nitrate contaminated groundwater with a fiber-based biofilm reactor. *Bioresource Technol.* 100: 2223-2227.
- هیدروژنی. مجله آب و فاضلاب. ۱: ۳۴-۳۹.
۵. هاشمی ا. حیدریور م. و مصطفی‌زاده ب. ۱۳۸۸. بررسی عملکرد فیلترهای کربنی در کاهش نیترات زهکش‌های زیرزمینی. ششمین کارگاه فنی زهکشی و محیط زیست، خوزستان. ۱۲۷-۱۳۴.
  6. Bakhsh A. Kanwar R. S. and Karlen D. L. 2005. Effects of liquid swine manure applications on NO<sub>3</sub>-N leaching losses to subsurface drainage water from loamy soils in Iowa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 109: 118-128.
  7. Bedessem M. E. Edgar T. V. and Roll R. 2005. Nitrogen removal in laboratory model leachfields with organic-rich layers. *Journal of Environmental Quality*. 34: 936-942.
  8. Chun J. A. Cooke R. A. Eheart J. W. and Kang M.S. 2009. Estimation of flow and transport parameters for woodchip-based bioreactors, I. Laboratory scale bioreactor. *Biosystems Engineering*. 104: 384-395.
  9. Hashemi S. E. Heidarpour M. and Mostafazadeh-Fard B. 2011. Nitrate removal using different carbon substrates in a laboratory model. *Water Science and Technology*. doi: 10.2166/wst.2011.518.
  10. Hernandez Apaolaza L. and Guerrero F. 2008. Comparison between pine bark and coconut husk sorption capacity of metals and nitrate when mixed with sewage sludge. *Bioresource Technology*. 99: 1544-1548.
  11. Jalali M. 2005. Nitrate leaching from agricultural land in Hamadan western Iran. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 110: 210-218.
  12. Jenssen P. D. and Siegrist R. L. 1990. Technology assessment of wastewater treatment by soil infiltration systems. *Water Science and Technology*. 22: 83-92.
  13. Karr J. D. Showers W. J. Gilliam W. J. and Andres A. S. 2001. Tracing nitrate transport and environmental impact from intensive swine farming using delta Nitrogen. *Journal of Environmental Quality*. 30: 1163-1175.
  14. Kesseru P. Kiss I. Bihari Z. and Polyak B. 2003. Biological denitrification in a continuous-flow pilot bioreactor containing immobilized *Pseudomonas butanovora* cells. *Bioresource Technology*. 87: 75-80.
  15. Lee K. C. and Rittmann B. E. 2003. Effects of pH and precipitation on autohydrogenotrophic denitrification using the hollow-fiber membrane-biofilm reactor. *Water Research*. 37: 1551-1556.
  16. Li Z. H. Kuba T. and Kusuda T. 2006. Aerobic granular sludge: A promising technology for