

## کاربرد نوین ترکیب روش های بیولوژیکی و فیزیکی برای حذف نیترات و نیتريت از آب

شبنم شهوه<sup>۱</sup>

مهدی صدیقی<sup>۲\*</sup>

[sedighi@qom.ac.ir](mailto:sedighi@qom.ac.ir)

مجید محمدی<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۶/۳/۳

تاریخ دریافت: ۹۵/۶/۱۰

### چکیده

**زمینه و هدف:** وجود مقادیر بیش از حد مجاز نیترات و نیتريت در آب می تواند سبب بروز بیماری هایی در انسان و ایجاد مخاطراتی در چرخه رشد حیوانات و گیاهان گردد. هدف از این مقاله ساخت پایلوتی به منظور حذف یون نیترات و نیتريت موجود در آب نمونه ورودی (حاوی غلظت بالای نیترات) از طریق ترکیب روش های بیولوژیکی و فیزیکی می باشد. لازم به ذکر است که امکان صنعتی شدن، ارزان و در دسترس بودن مواد مورد استفاده در این پایلوت از مزیت های این تحقیق محسوب می گردد.

**روش بررسی:** پایلوت به شکل مکعب مستطیل دارای چهار کشتو و یک محفظه شیشه ای در انتها طراحی و ساخته شد. کشتوهای پایلوت به ترتیب با خاک اره، پساب فاضلاب (تصفیه خانه دانشگاه آزاد اسلامی، علوم تحقیقات تهران)، محلول دست ساز نیترات، خاک بنتونیت، شن و ماسه دو بار شسته شده پر شد. غلظت یون نیترات و نیتريت توسط نوعی اسپکتوفوتومتر به نام دستگاه هچ (HACH/DR5000) اندازه گیری و گزارش گردید.

**یافته ها:** در کارکرد پایلوت به صورت سیستم جاری و با استفاده از سویه برداشتی از پساب فاضلاب (پس از هوادهی)، راندمان حذف نیترات و نیتريت موجود در آب نمونه ورودی به ترتیب، ۷۴/۸۴٪ و ۹۹/۸٪ در زمان ماند ۲۰ دقیقه گزارش گردید. همچنین در کارکرد پایلوت به صورت سیستم جاری و با استفاده از سویه برداشتی از لجن فاضلاب (قبل از هوادهی) و مخمر، راندمان حذف نیترات و نیتريت به ترتیب ۷۲/۶۳٪ و ۵۶/۳۳٪ در مدت زمان ۲۰ دقیقه گزارش گردید.

**بحث و نتیجه گیری:** در طول انجام آزمایشات معین گردید که پایلوت ساخته شده علاوه بر حذف نیترات، نیتريت موجود در محیط را نیز حذف می نماید. در کارکرد پایلوت به صورت سیستم جاری و با استفاده از سویه برداشتی از پساب فاضلاب (پس از هوادهی) بیشترین میزان یون نیترات و نیتريت حذف شد. در همه حالات روند تغییرات pH صعودی و دما نزولی بود.

**واژه های کلیدی:** حذف یون نیترات و نیتريت، سویه، خاک اره، بنتونیت، مخمر

۱- دانش آموخته کارشناس ارشد رشته مهندسی شیمی بیوتکنولوژی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

۲- استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران. \* (مسوول مکاتبات)

۳- استادیار گروه مهندسی انرژی، دانشگاه صنعتی قم، قم، ایران.

## **A Novel Application of Combined Biological and Physical Method for Nitrate and Nitrite Removal from Water**

**Shabnam Shahveh**<sup>1</sup>

**Mehdi Sedighi**<sup>2\*</sup>

[sedighi@gom.ac.ir](mailto:sedighi@gom.ac.ir)

**Majid Mohammadi**<sup>3</sup>

Admission Date: May 24, 2017

Date Received: August 31, 2016

### **Abstract**

**Background and Objective:** Large amounts of nitrate and nitrite in water cause different diseases in human and jeopardize plants and animals growth cycles. In this study in order to remove nitrate and nitrite ions from input of sample water, including high concentrations of nitrate by combining biological and physical methods a pilot was designed and tested. It should be noted that industrialization, cheap and availability of used materials in this pilot are benefits of this pilot.

**Method:** The pilot was designed in the form of a cube with four drawers and a glass chamber at one end. The pilot drawers were filled with sawdust, wastewater (wastewater treatment plant in Islamic Azad University, Tehran) of treatment plant, including the best strain, handmade nitrate solution, the bentonite and twice washed sand. The experiments showed that the designed pilot in addition to the elimination of nitrate also removes the nitrite of the medium. The concentration of nitrate and nitrite was analysed by HACH/DR5000 spectrophotometer.

**Findings:** In the case of the pilot performance of the continuous system and using the strains taken from the wastewater of the treatment plant after the aeration phase, the nitrate and nitrite removal efficiency of the input of sample water in 20 minutes retention time were measured 74.84% and 99.8% respectively. Additionally, in the case of the pilot performance in the continuous system and using the strains taken from the sludge of the treatment plant wastewater before the aeration phase and the yeast, the nitrate and nitrite removal efficiency in 20 minutes retention time were measured 72.63% and 56.33% respectively.

**Discussion and Conclusion:** During the experiments, the designed pilot had a promising role in the nitrate and nitrite removal. In the case of the pilot performance of the continuous system and using the strains taken from the wastewater of the treatment plant after the aeration phase, the maximum amount of nitrite and nitrate ions were removed. It should be noted that through the pilot performance in all cases, pH and temperature had an increasing and decreasing trend respectively.

**Keywords:** Nitrate and Nitrite Ion Removal, Strain, Sawdust, Bentonite, Yeast.

---

1- M.Sc., Chemical Engineering-Biotechnology, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Qom, Qom, Iran. \* (Corresponding Author)

3- Assistant Professor, Department of Energy Engineering, Qom University of Technology, Qom, Iran.

## مقدمه

از آب شامل: روش تبادل یونی با استفاده از رزین‌های قوی (۱۰)، حذف بیولوژیکی نیترات (۱۰)، اسمز معکوس (۱۰)، احیای شیمیایی (۱۱)، انعقاد شیمیایی (۱۱)، رقیق‌سازی (۱)، الکترودیالیز و یا الکترودیالیز معکوس (۱)، سبک‌سازی با آهک (۱) می‌باشد. نیتروژن علاوه بر آب یکی از آلاینده‌های موجود در فاضلاب نیز محسوب می‌گردد (۱۲). نیتروژن در فاضلاب به اشکال نیتروژن آلی و غیرآلی وجود دارد. پایدارترین حالت نیتروژن در آب و فاضلاب، نیترات می‌باشد. بخش عمده نیتروژن در طی فرآیند تصفیه فاضلاب حذف می‌گردد (۱۲). فرآیندها به شرح ذیل می‌باشد:

الف) فرآیندهای فیزیکی-شیمیایی شامل تبادل یونی، تبدیل کاتالیستی در حضور هیدروژن، اکسیداسیون و احیاء، اسمز معکوس و الکترودیالیز، دیالیز و نانوفیلتراسیون (۱۲).

ب) فرآیندهای بیولوژیکی شامل رشد معلق و فرآیند رشد چسبیده مانند رآکتورهای با بستر پر شده، رآکتورهای بستر شناور، فیلتر گوگرد، سنگ آهک و دنیتریفیکاسیون با هیدروژن (۱۲، ۱۳). به دلیل این‌که حذف یون نیترات و نیتريت موجود در آب به سختی صورت گرفته و بسیار هزینه بر می‌باشد، در این تحقیق پیلوتی جهت نیترات و نیتريت زدایی از آب نمونه ورودی با غلظت مشخص، طراحی و ساخته شد. این پیلوت با استفاده از روش‌های بیولوژیکی، فیزیکی، شیمیایی به طور همزمان، به حذف یون نیترات و نیتريت موجود در هرگونه آب یا محلول آبی حاوی غلظت بالای یون نیترات و نیتريت، می‌پردازد. هر کشتی از این پیلوت با مواد ارزان و در دسترس مانند: خاک اره، خاک بنتونیت، مخمر و سویه‌های برداشتی از فاضلاب پر گردید. لازم به ذکر است که طراحی و ساخت این پیلوت جدید می‌باشد و مشابه آن در تحقیقات قبل مشاهده نشده است.

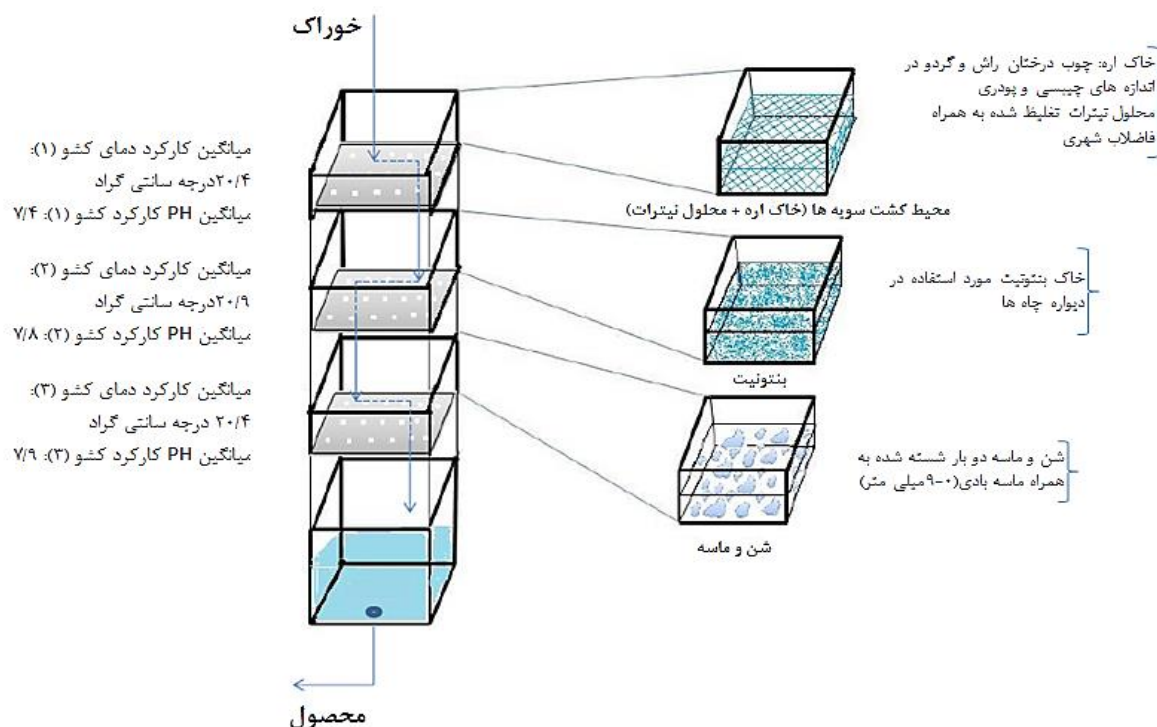
## ساختمان کلی پیلوت طراحی شده

شکل کلی پیلوت به صورت چهارچوب فلزی به شکل مکعب مستطیل با سه کشتی با ابعاد یکسان (کف هر کشتی ۱۰۰۰ سوراخ) ساخته شد. یک محفظه شیشه‌ای در انتها به منظور

در پساب‌های تازه، نیتروژن بیشتر بصورت نیتروژن آلی (پروتئین) است و با گذشت زمان به تدریج به نیتروژن آمونیاکی، سپس در شرایط هوازای به نیترات و در آخر به نیتريت تبدیل می‌شود. نیترات پس از نفوذ در لایه‌های خاک، وارد آب‌های زیرزمینی شده و ممکن است در طبقه‌های پایین در شرایط بی-هوازی، به نیتروژن آمونیاکی تبدیل شود، به همین دلیل در لایه‌های زیرین خاک نیترات کم‌تر مشاهده می‌شود (۱-۴). با توجه به اثرات بهداشتی و محیطی که غلظت بالای نیترات در منابع آب بر جای می‌گذارد، استانداردها و دستورالعمل‌هایی در سطح بین‌المللی و ملی برای نیترات و نیتريت موجود در منابع آب تدوین شده است. طبق این دستورالعمل‌ها حداکثر غلظت مجاز نیترات و نیتروژن به وسیله سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا، ۱۰ میلی‌گرم یون نیترات بر لیتر و توسط سازمان بهداشت جهانی و جامعه اقتصادی اروپا، ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر بر حسب نیترات تعیین شده است (۵). استانداردهای ایران، حداکثر مجاز نیترات در آب آشامیدنی را ۴۵ میلی‌گرم در لیتر بر حسب نیترات و یا ۱۰ میلی‌گرم در لیتر بر حسب نیتروژن تعیین نموده است (۶). وجود مقادیر بیش از حد مجاز نیترات و نیتريت در آب می‌تواند سبب بروز بیماری‌هایی از قبیل متهموگلوبینمی، سرطان در انسان و ایجاد مخاطراتی در چرخه رشد حیوانات و گیاهان گردد (۱). از این رو حذف نیترات از آب آشامیدنی یکی از ملزومات چرخه تصفیه آب قابل شرب محسوب می‌گردد. منابع اصلی آلودگی نیترات در آب‌های زیرزمینی عبارتند از کودهای شیمیایی نیتروژنه (۱)، پساب‌های خانگی و صنعتی (۵) و پساب‌های حیوانی (۷). به طور کلی تکنولوژی‌های حذف ترکیبات ازته به دو روش فیزیکی و شیمیایی تقسیم می‌شوند. از آنجا که یون نیترات بسیار پایدار است، حذف آن توسط روش‌های تصفیه معمولی مانند انعقاد، جذب و ... انجام نمی‌شود (۸). فرآیندهای تخصصی مانند استفاده از کاتالیزور در دما و فشار بالا، استفاده از مواد شیمیایی جهت حذف نیترات در نهایت تصفیه آب آشامیدنی، می‌تواند کاربردی محسوب گردد (۹). به طور کل روش‌های حذف نیترات

منظور توزیع جریان بر روی پایلوت نصب شد.

جمع آوری آب جریان یافته در پایلوت تعبیه گردید. نه نازل به



شکل ۱- دستگاه آزمایشگاهی

Figure 1. Experimental setup

### روش بررسی

ورودی به پایلوت موجود و جریان خروجی از کشو وجود نداشت) و سیستم جاری صورت گرفت؛ در نتیجه بررسی حالت های متفاوت ذکر شده در بالا، کارکرد پایلوت به صورت پیوسته و جاری سازی نمونه ورودی از بالا به پایین (از طریق مخزن نصب شده بر روی پایلوت) مناسب تشخیص داده شد. کشوهایی پایلوت با سه نوع ماده پر شد: در بخش بیولوژیک از پساب تصفیه خانه فاضلاب شهری در محیط کشت حاوی محلول تغلیظ شده نیترات و فاضلاب شهری (منبع نیترژن) به همراه خاک اره (منبع کربن)؛ استفاده گردید. در بخش معدنی از خاک بنتونیت (کشو دوم پایلوت- به ضخامت ۵ سانتی متر)، همچنین از شن و ماسه بادی دو بار شسته شده (کشو سوم پایلوت- به ضخامت ۷ سانتی متر) به عنوان فیلتر شنی استفاده گردید. در بخش آلی از خاک اره (خاک اره حاوی چوب درختان راش و گردو، در اندازه های ریز و درشت بود- کشو اول پایلوت) به عنوان منبع کربن سویه های برداشت شده از پساب تصفیه

روش بررسی در این تحقیق، آزمایشگاهی و نحوه جمع آوری اطلاعات میدانی می باشد. در این تحقیق پس از طراحی و ساخت دستگاه به انتخاب روش آزمایشات پرداخته شد. هر آزمایش با دوبار تکرار انجام گردید. با توجه به این که نوع کمیت مورد اندازه گیری غلظت یون نیترات و نیتریت موجود در نمونه ها بود نوعی اسپکتوفوتومتر به نام دستگاه هیچ (HACH/DR5000) انتخاب گردید. هنگام استفاده از این دستگاه روش اندازه گیری غلظت با توجه به بازه اندازه گیری غلظت یون نیترات مورد نیاز انتخاب گردید. نه عدد نازل جهت توزیع یکسان جریان آب نمونه ورودی، بر روی پایلوت نصب گردید. توزیع جریان نمونه ورودی پایلوت به سه صورت سیستم بسته (در این حالت تمامی سوراخ های کف کشو را مسدود ساختیم و فقط حجمی معین از نمونه را در آن ریختیم تا به زمان ماند مورد نظر برسد)، نیمه بسته (در این حالت حجمی معین از نمونه به داخل کشو ریخته شد، به طوری که جریان

گردید. لازم به ذکر است که کلیه آزمایشات با دو بار تکرار انجام پذیرفت و تغییرات غلظت یون نیترات و نیتريت، میزان تغییرات دما و pH نمونه ورودی و خروجی پایلوت اندازه گیری و در نتایج زیر آورده شد.

#### الف) دستگاه اندازه گیری غلظت یون نیترات و نیتريت

به منظور اندازه گیری غلظت یون نیترات و نیتريت در هر مرحله از نوعی اسپکتوفوتومتر به نام دستگاه هچ (DR5000) استفاده گردید. پس از روشن کردن و چک خودکار دستگاه، روش اندازه گیری 355 HR Nitrate از فهرست دستگاه انتخاب شد. در هر مرحله ۱۰ میلی لیتر از نمونه مورد نظر در سل مخصوص دستگاه ریخته می شد و کیت Nitra ver/Nitrate Reagent/cat num:21061- به نمونه افزوده می گردید.

#### یافته ها

الف) استفاده از پساب و محلول دست ساز نیترات به همراه خاک اره به عنوان لایه بیولوژیک؛ خاک بنتونیت به عنوان لایه آلی؛ شن و ماسه به عنوان فیلتر شنی و معدنی (اندازه گیری نیترات، خروجی کشو سوم) در این آزمایش کارایی نیترات زدایی کلی پایلوت در سیستم جاری سنجیده شد. غلظت به دو صورت میزان یون نیترات و نیتروژن موجود در یون نیترات، تغییرات PH و دما برحسب زمان ماند به ترتیب در ستون یک، دو، سه و چهار در جدول (۱) گزارش شده است؛ که با گذشت زمان غلظت یون نیترات محیط و دما کاهش، PH افزایش یافت. مشاهده گردید که سویه ها قبلاً فعال گردیده بودند؛ بلافاصله پس از صفر شدن غلظت یون نیترات در محیط کشت، سویه ها آماده انتقال به کشو اول پایلوت بودند. به همین دلیل به محض افزودن محلول حاوی غلظت بالای نیترات به سیستم جاری، میکروارگانسیمها توان حذف نیترات را در بازه ۲۰-۱۲۰ دقیقه دارا بودند و پس از ۱۲۰ دقیقه به دلیل مرگ سویه ها غلظت نیترات در نمونه خروجی از کشو آخر پایلوت (شن و ماسه) افزایش یافت (در هر مرحله نمونه گیری غلظت نیترات در محیط کشت اندازه گیری شد، سیر رشد سویه های برداشتی نیز در زیر میکروسکوپ

خانه شهری استفاده گردید. شایان ذکر است که کارایی هر یک از این مواد (خاک اره، پساب تصفیه خانه شهری، خاک بنتونیت، شن و ماسه) در حذف نیترات موجود در نمونه ورودی به پایلوت، در سیستم بسته به صورت جداگانه مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج ثبت گردید. به منظور پایدار سازی پایلوت میانگین نرخ جریان ۱/۲۸ لیتر بر ساعت در نظر گرفته شد. جهت ساخت محلول ورودی به پایلوت، پودر  $KNO_3$  (شرکت سازنده Merck، درصد خلوص ۹۹/۹٪) به میزان مورد نیاز وزن شد، سپس در بشر حاوی آب مقطر حل گردید. به مدت ۵ دقیقه بر روی شیکر گذاشته و به حجم رسانده شد. این محلول تا ۱۴ روز در دمای ۴ درجه سانتی گراد قابل نگهداری بود. غلظت یون نیترات و نیتريت موجود در نمونه ورودی به پایلوت توسط دستگاه هچ (DR5000) اندازه گیری شد. محلول دست ساز حاوی نیترات با غلظت معین از طریق مخزن ۲۰ لیتری نصب شده بر روی پایلوت، بر روی کشوها جاری گردید. کشو اول با خاک اره به ضخامت ۵ سانتی متر (به عنوان منبع کربن سویه ها) به همراه محلول دست ساز نیترات با غلظت معین (به عنوان منبع نیتروژن سویه ها) به عنوان محیط کشت سویه ها پر گردید. لازم به ذکر است در هر مرحله آزمایش، محیط کشت سویه ها (خاک اره و محلول دست ساز نیترات) قبلاً تهیه شده و طی ۳ الی ۴ روز زمان ماند بر اثر فعالیت سویه ها غلظت یون نیترات موجود در محیط کشت به صفر می رسید. هدف از بررسی در سیستم بسته، کاهش خطا و تعیین دقیق میزان نیترات و نیتريت زدایی هر ماده به صورت جداگانه بود که با انجام این کار مکان قرارگیری هر ماده در هر کشو تعیین گردید و پایلوت به صورت پیوسته شروع به کار کرد. نمونه برداشته شده از خروجی هر کشو پس از عبور از کاغذ صافی جهت اندازه گیری غلظت یون نیترات و نیتريت موجود در نمونه ها به سل ۱۰ میلی لیتری دستگاه هچ (DR5000) انتقال یافت که این روش نمونه گیری به علت کاهش کدورت و ذرات معلق جامد موجود در نمونه مورد نظر مناسب تشخیص داده شد. در هر مرحله از آزمایشات میزان رشد و تکثیر سویه ها در کشو اول پایلوت توسط میکروسکوپ مشاهده و بررسی

خانه محل آزمایش (قبل از مرحله هوادهی) بر روی خاک اره ریخته و به عنوان محیط کشت در نظر گرفته شد. طی چهار روز (زمان فعال سازی میکروارگانیسم‌های پساب) میزان نیترات موجود در محیط کشت به  $9/3$  میلی‌گرم بر لیتر (تقریباً صفر) رسید. سپس محلول نیترات جدید (خوراک ورودی به پایلوت) با غلظت  $141/8$  میلی‌گرم بر لیتر ساخته و بر روی پایلوت جریان یافت. در زمان‌های ماند  $20$  و  $40$  و  $60$  و ... دقیقه غلظت نیترات پس از جریان یافتن در پایلوت اندازه‌گیری و در جدول (۱) آورده شده است:

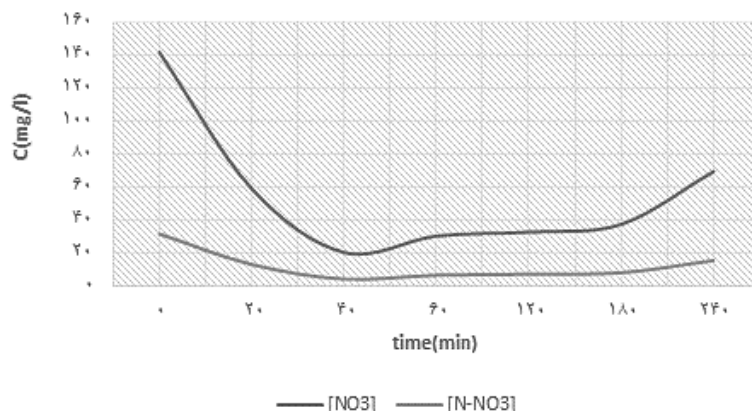
مشاهده گردید. در شکل (۲) محلول اولیه دارای غلظت بالای نیترات می‌باشد، در نتیجه حذف این غلظت از نیترات، نیاز به زمان ماند بیش‌تر دارد یا میکروارگانیسم‌ها باید بازیابی گردند. با توجه به داده‌های ثبت شده کارکرد پایلوت در سیستم جاری با کارایی حذف نیترات  $78/42$ ٪ در اولین دور آزمایشات، مناسب تشخیص داده شد. لازم به ذکر است که اندازه‌گیری غلظت نیترات خروجی در هر آزمایش تا زمانی ادامه یافت که تغییرات به میزان یکسان و ثابتی برسد. محلول نیترات با غلظت اولیه  $168/2$  میلی‌گرم بر لیتر به همراه پساب برداشتی از تصفیه

جدول ۱- استفاده از پساب (به همراه محلول دست ساز نیترات و خاک اره؛ محیط کشت) به عنوان لایه بیولوژیک، خاک

بنتونیت به عنوان لایه آلی و شن و ماسه به عنوان فیلتر شنی و معدنی.

Table 1. Using the wastewater (Growth medium, with handmade nitrate solution and sawdust) as a biological layer, Bentonite as an organic layer and sand as an inorganic sand filter.

زمان ماند (min)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg/l)	pH	T (°C)	Input (lit)	توضیحات
۰ (نمونه اولیه قبل از رقیق سازی)	۱۶۸/۲	۲/۱	۷/۵۴	۱۹/۶	۶ لیتر آب مقطر + ۱ لیتر محلول نیترات	نیترات اولیه موجود در محیط کشت
۲۰	۹/۳	۲/۱	۷/۵۴	۲۰/۱	۶ لیتر آب مقطر + ۱ لیتر محلول نیترات	سویه‌ها بسیار خوب رشد و تکثیر شدند (محیط کشت)
۰ (نمونه اولیه پس از رقت سازی)	۱۴۱/۸	۳۱/۹	۶/۱۵	۲۶/۸	۱۴ لیتر آب مقطر + ۱ لیتر محلول نیترات	محلول نیترات داخل مخزن بعد از رقت‌سازی (اولیه)
۲۰	۵۹/۲	۱۳/۴	۶/۱۵	۲۰/۲	۱۴ لیتر آب مقطر + ۱ لیتر محلول نیترات	سویه‌ها رشد و تکثیر یافته‌اند.
۴۰	۲۰/۷	۴/۶	۷/۴۷	۲۰/۱	۱۴ لیتر آب مقطر + ۱ لیتر محلول نیترات	نمونه خروجی از کشت دوم (شن و ماسه)
۶۰	۳۰/۶	۶/۹	۸/۲۴	۲۰/۷	۱۴ لیتر آب مقطر + ۱ لیتر محلول نیترات	نمونه خروجی از کشت سوم (شن و ماسه)
۱۲۰	۳۳/۰	۷/۵	۸/۱۳	۲۰/۵	۱۴ لیتر آب مقطر + ۱ لیتر محلول نیترات	نمونه خروجی از کشت سوم (شن و ماسه)
۱۸۰	۳۷/۷	۸/۴	۸	۲۰/۴	۱۴ لیتر آب مقطر + ۱ لیتر محلول نیترات	نمونه خروجی از کشت سوم (شن و ماسه)
۲۴۰	۶۹/۷	۱۵/۸	۸/۱۲	۲۰/۵	۱۴ لیتر آب مقطر + ۱ لیتر محلول نیترات	نمونه خروجی از کشت سوم (شن و ماسه)



شکل ۲- غلظت نیترات نمونه خروجی از پایلوت (میلی گرم بر لیتر) بر حسب زمان ماند (دقیقه)، استفاده از پساب و محلول دست ساز نیترات و خاک اره به عنوان لایه بیولوژیک، خاک بنتونیت به عنوان لایه آلی و شن و ماسه به عنوان فیلتر شنی و معدنی.

Figure 2. The outlet nitrate concentration from pilot (mg/L) in terms of residence time, using the wastewater and handmade nitrate solution and sawdust as a biological layer; Bentonite as an organic layer and sand as an inorganic and sand filter.

میزان حذف یون نیترات در نمونه خروجی از کشتی دوم پایلوت (بنتونیت) بر حسب زمان (در مدت زمان ۳۰ دقیقه) سیر نزولی داشته و پس از این مدت زمان روند افزایشی را طی کرد. لازم به ذکر است که بنتونیت تا زمانی که از آب اشباع گردد توانایی زدایش نیترات را دارا بود؛ و به طور کل این خاک حدود ۲۰ برابر وزن خود آب جذب کرد. در کشتی اول پایلوت (لایه بیولوژیک)، میکروارگانیسم‌ها پس از ۲۰ دقیقه غلظت یون نیترات موجود در محیط را افزایش داده و از سوی دیگر، چون خروجی کشتی اول ورودی، کشتی دوم محسوب می‌گردد؛ پس از ۲۰ دقیقه میزان یون نیترات موجود در نمونه خروجی از کشتی سوم پایلوت نیز افزایش یافت. میزان نیترات زدایی از جریان محلول ورودی به پایلوت با عبور از کشتی اول (لایه بیولوژیک) و دوم (بنتونیت) در مدت زمان ۲۰ دقیقه ۷۸/۴۵٪ اندازه‌گیری شد. با بررسی داده‌های بدست آمده استفاده از بنتونیت به عنوان یک فیلتر معدنی در کشتی دوم پایلوت، با توانایی نیترات زدایی ۳۰ واحد مناسب تشخیص داده شد. لازم به ذکر است که اندازه‌گیری غلظت نیترات خروجی در هر آزمایش تا زمانی ادامه یافت که تغییرات به میزان یکسان و ثابتی برسد. محلول نیترات با غلظت اولیه ۱۶۸/۲ میلی‌گرم به همراه پساب برداشتی از

(ب) استفاده از پساب، محلول دست ساز نیترات و خاک اره به عنوان لایه بیولوژیک، خاک بنتونیت به عنوان لایه آلی، شن و ماسه به عنوان فیلتر شنی و معدنی (اندازه گیری نیترات، خروجی کشتی اول و دوم) در این آزمایش کارایی نیترات زدایی کلی پایلوت در سیستم جاری سنجیده شد. غلظت به دو صورت میزان یون نیترات و نیتروژن موجود در یون نیترات، تغییرات pH و دما بر حسب زمان ماند به ترتیب در ستون یک، دو، سه و چهار در جدول (۲) گزارش شده است؛ که با گذشت زمان غلظت یون نیترات محیط و دما کاهش، pH افزایش یافت. مشاهده گردید که سوبه‌ها قبلاً فعال شده بودند؛ به همین دلیل به محض جاری سازی محلول حاوی غلظت بالای نیترات در پایلوت، در بازه ۱۰-۲۰ دقیقه نیترات زدایی صورت گرفت. در شکل (۳) حذف یون نیترات با گذشت زمان سیر نزولی داشته و پس از ۲۰ دقیقه بدلیل مرگ میکروارگانیسم‌ها غلظت نیترات در نمونه خروجی از کشتی آخر افزایش یافت. لایه بیولوژیک حاوی سوبه‌های برداشتی از پساب تصفیه خانه، به تنهایی به میزان ۴۱/۰۹٪ توانایی حذف یون نیترات را دارا بود. در شکل (۴) پس از جاری سازی محلول حاوی غلظت بالای نیترات بر پایلوت،

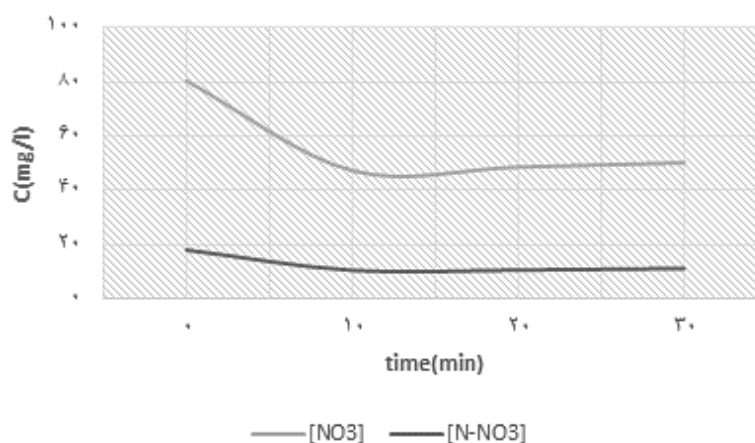
بر لیتر بر روی پایلوت جاری گردید و در زمان‌های ماند ۱۰ و ۲۰ و ۳۰ ... دقیقه غلظت یون نیترات در جریان خروجی از کشت اول و دوم اندازه‌گیری و در جدول (۲) آورده شده است:

تصفیه خانه محل آزمایش (قبل از مرحله هوادهی) بر روی خاک اره ریخته و به عنوان محیط کشت در نظر گرفته شد. در طی چهار روز (زمان فعال‌سازی میکروارگانسیم‌ها) میزان نیترات موجود در محیط کشت به ۹/۳ میلی‌گرم بر لیتر (تقریباً صفر) رسید. سپس محلول نیترات دست ساز با غلظت ۸۰/۳ میلی‌گرم

جدول ۲- میزان غلظت یون نیترات در خروجی از کشت اول (محیط کشت میکروارگانسیم‌ها؛ لایه بیولوژیک) و کشت دوم (بنتونیت)؛ استفاده از پساب و محلول دست ساز نیترات و خاک اره به عنوان لایه بیولوژیک، بنتونیت و شن و ماسه به عنوان فیلتر معدنی.

Table 2. Outlet nitrate ion concentration from the first pilot drawer (biological layer) and the second drawer; Using the wastewater and handmade nitrate solution and sawdust as a biological layer; Bentonite and sand as an inorganic filter.

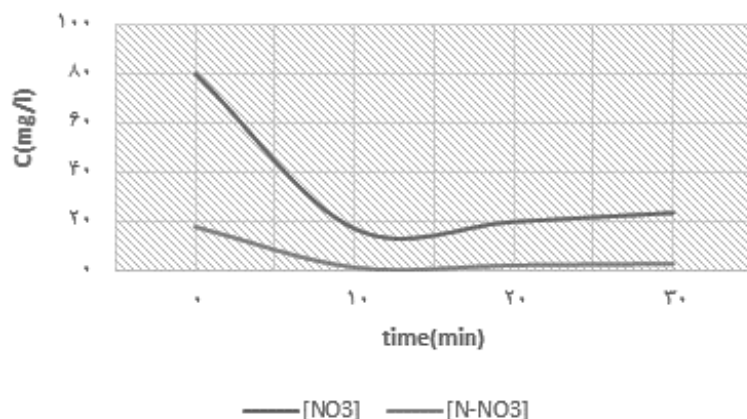
زمان ماند (min)	NO <sub>3</sub> (mg/l)	NO <sub>3</sub> -N(mg/l)	pH	T (°C)	Input (lit)	توضیحات
۰	۸۰/۳	۱۸/۱	۶/۳۶	۲۲/۹	۵لیتر	آب اولیه در مخزن
۱۰	۱۷/۳	۱/۶	۷/۹۲	۲۱	۵لیتر	نمونه خروجی از کشت دوم (بنتونیت)
۲۰	۲۰/۲	۲/۵	۷/۸۶	۲۱/۲	۵لیتر	نمونه خروجی از کشت اول (بنتونیت)
۳۰	۲۳/۸	۳/۱	۷/۷۶	۲۰/۵	۵لیتر	نمونه خروجی از کشت دوم (بنتونیت)
۱۰	۴۷/۳	۱۰/۶	۷/۵۹	۲۱/۷	۵لیتر	نمونه خروجی از کشت اول (باکتری)
۲۰	۴۸/۶	۱۰/۷	۷/۴۶	۲۱/۳	۵لیتر	نمونه خروجی از کشت دوم (باکتری)
۳۰	۵۰/۲	۱۱/۳	۷/۳۵	۲۱/۲	۵لیتر	نمونه خروجی از کشت اول (باکتری)



شکل ۳- غلظت یون نیترات در نمونه خروجی از پایلوت (میلی‌گرم بر لیتر) بر حسب زمان ماند (دقیقه)، استفاده از پساب و محلول دست ساز نیترات و خاک اره به عنوان لایه بیولوژیک، بنتونیت و شن و ماسه به عنوان فیلتر معدنی.

Figure 3. The outlet nitrate ion concentration from pilot (mg/L) in terms of residence time, Using wastewater and sawdust and a biological layer, sand as an inorganic filter.





شکل ۴- غلظت یون نیترات در نمونه خروجی از پایلوت (میلی گرم بر لیتر) بر حسب زمان ماند (دقیقه)، استفاده از پساب و محلول دست ساز نیترات و خاک اره به عنوان لایه بیولوژیک، بنتونیت و شن و ماسه به عنوان فیلتر معدنی.

Figure 4. The outlet nitrate ion concentration from pilot (mg/L) in terms of biological layer, Bentonite and sand as an inorganic filter.

#### نتیجه گیری

سیستم پیوسته به ترتیب ۷۲/۶۳٪ و ۵۶/۳۳٪ (در زمان ماند ۲۰ دقیقه) گزارش گردید. در استفاده از سویه های برداشتی از پساب تصفیه خانه (قبل از مرحله هوادهی) راندمان حذف نیتريت برای کارکرد پایلوت به صورت سیستم پیوسته ۹۸/۸۰٪ (در زمان ماند ۲۰ دقیقه) گزارش گردید. به عنوان جمع بندی حذف همزمان یون نیترات و نیتريت از نمونه محلول ورودی، استفاده از مواد ارزان قیمت و در دسترس بودن و امکان ارتقاء به مقیاس صنعتی به عنوان ویژگی های حایز اهمیت پایلوت ساخته شده قابل ذکر می باشد.

از مجموعه آزمایشات این نتایج حاصل گردید که استفاده از سویه های استخراج شده از پساب و لجن فعال تصفیه خانه در کشت اول پایلوت (لایه بیولوژیک) مناسب تشخیص داده شد. در مرحله آماده سازی محیط کشت سویه ها نیز استفاده از خاک اره به عنوان منبع کربن و محلول نیترات دست ساز به عنوان منبع نیتروژن مناسب تشخیص داده شد. در انتخاب مواد معدنی قابل استفاده برای فیلتر؛ شن و ماسه با ابعاد گوناگون با راندمان حذف نیترات ۲/۵۴٪ مناسب تشخیص داده نشد و خاک رس اصلاح شده (بنتونیت) با راندمان حذف نیترات ۵۴/۲۷٪ مناسب تشخیص داده شد. در انتخاب مواد آلی قابل استفاده برای فیلتر، خاک اره با ابعاد گوناگون با راندمان حذف نیترات موجود در آب ۶/۰۸٪ در زمان ماند ۱۲۰ دقیقه مناسب تشخیص داده نشد. از نظر نوع سیستم جریان برای کارکرد پایلوت هر سه حالت بسته، نیمه بسته و پیوسته آزمایش و بررسی گردید. در استفاده از سویه های برداشتی از پساب تصفیه خانه (قبل از مرحله هوادهی) راندمان حذف نیترات برای کارکرد پایلوت در سیستم بسته و نیمه بسته و پیوسته به ترتیب ۹۳/۹۸٪، ۹۴/۰۳٪، ۷۴/۸۴٪ (در زمان ماند ۲۰ دقیقه) آزمایش و اندازه گیری شد. همچنین در استفاده از سویه های برداشتی از لجن تصفیه خانه و مخمر راندمان حذف نیترات برای کارکرد پایلوت به صورت

#### Reference

1. Paredes D, Kusch P, Mbwette T, Stange F, Müller R, Köser H. New aspects of microbial nitrogen transformations in the context of wastewater treatment—a review. *Engineering in Life Sciences*. 2007;7(1):13-25.
2. Mohammadi M, Sedighi M, Alimohammadi V. Modeling and optimization of Nitrate and total Iron removal from wastewater by TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> nanocomposites.

- verrucosa as carbon source. *Process Biochemistry*. 2006;41(6):1289-95.
9. Her J-J, Huang J-S. Influences of carbon source and C/N ratio on nitrate/nitrite denitrification and carbon breakthrough. *Bioresource Technology*. 1995;54(1):45-51.
  10. Gabaldón C, Izquierdo M, Martínez-Soria V, Marzal P, Peña-roja J-M, Alvarez-Hornos FJ. Biological nitrate removal from wastewater of a metal-finishing industry. *Journal of hazardous materials*. 2007;148(1-2):485-90.
  11. Obaja D, Mace S, Mata-Alvarez J. Biological nutrient removal by a sequencing batch reactor (SBR) using an internal organic carbon source in digested piggery wastewater. *Bioresource technology*. 2005;96(1):7-14.
  12. Dhamole PB, Nair RR, D'Souza SF, Lele S. Denitrification of high strength nitrate waste. *Bioresource technology*. 2007;98(2):247-52.
  13. Sedighi M, Aljlil SA, Alsubei MD, Ghasemi M, Mohammadi M. Performance optimisation of microbial fuel cell for wastewater treatment and sustainable clean energy generation using response surface methodology. *Alexandria engineering journal*. 2018;57(4):4243-53.
  - International Journal of Nano Dimension. 2019;10(2):195-208.
  3. Sedighi M, Mohammadi M. Application of Green Novel NiO/ZSM-5 for Removal of Lead and Mercury ions from Aqueous Solution: Investigation of Adsorption Parameters. *Journal of Water and Environmental Nanotechnology*. 2018;3(4):301-10.
  4. Alimohammadi V, Sedighi M, Jabbari E. Response surface modeling and optimization of nitrate removal from aqueous solutions using magnetic multi-walled carbon nanotubes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2016;4(4):4525-35.
  5. Benyoucef N, Cheikh A, Drouiche N, Lounici H, Mameri N, Abdi N. Denitrification of groundwater using Brewer's spent grain as biofilter media. *Ecological engineering*. 2013;52:70-4.
  6. Zhou W, Sun Y, Wu B, Zhang Y, Huang M, Miyanaga T, et al. Autotrophic denitrification for nitrate and nitrite removal using sulfur-limestone. *Journal of Environmental Sciences*. 2011;23(11):1761-9.
  7. Gerardi MH. *Settleability problems and loss of solids in the activated sludge process*: John Wiley & Sons; 2003.
  8. Ovez B. Batch biological denitrification using *Arundo donax*, *Glycyrrhiza glabra*, and *Gracilaria*