

Research Paper

Efficiency Evaluation of Natural Filter Media in Treating Effluent from Activated Sludge Wastewater Treatment System

Sahar Eslami Farsani ¹,Adnan Sadeghi-Lari ^{2*},Vali Alipoor ³

¹ M.Sc. Alumnus, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

² Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

³ Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, Hormozgan University of medical sciences, Bandar Abbas, Iran



10.22125/IWE.2023.406631.1735

Received:
August 20, 2023

Accepted:
December 10, 2023

Available online:
May 5, 2024

Keywords:
Orthophosphate,
Zeolite, Wood chips,
Nitrate....

Abstract

In arid regions, such as Iran, the severe reduction of renewable water resources and continuous droughts make it imperative to recycle and reuse wastewater. On the other hand, the removal of nitrogen and phosphorus from wastewater, as two dangerous pollutants for human health and the environment, is very important. The present study was conducted to investigate the efficiency of natural filter materials in removing nitrate and orthophosphate from the effluent of a wastewater treatment system. For this purpose, four bioreactors were constructed with different filter material compositions including Juliflora wood chips and zeolite (PWZ), Juliflora wood chips (CPW), tamarisk wood chips (TW), Prosopis Juliflora-tamarisk wood chips and zeolite (PWZTW). The nitrate and orthophosphate removal efficiency was evaluated at three hydraulic retention times of 12, 18, and 24 hours. The findings showed that the nitrate removal efficiency in PWZ, CPW, TW, and PWZTW treatments at all three retention times was 82.72%, 72.93%, 76.61%, and 81.12%, respectively. The highest nitrate removal efficiency was obtained in the PWZ treatment at a retention time of 24 hours, amounting to 97.35%. The orthophosphate removal efficiency in the all treatments was calculated to be 84.04%, 77.46%, 63.94%, and 81.60%, respectively.

1. Introduction

In today's societies, providing water with adequate quality is very important. With population growth, while existing water sources are polluted, pressure on these sources also increases. This issue, along with the non-uniform distribution of water resources and continuous droughts in different parts of the world, increases the need for new water sources and protection of existing water resources. Therefore, one of the alternative solutions for existing water resources is wastewater treatment with simple and efficient methods. Natural wastewater treatment such as using wetlands and other centralized solutions, due to their suitable efficiency, low costs for implementation and easier operation, are considered as an important alternative for conventional wastewater treatment systems. One of the centralized wastewater treatment methods is using biofiltration process in natural organic media such as wood chips and zeolite, as a technological alternative. These systems require low technical support and are a clean, cheap and

* **Corresponding Author:** Adnan Sadeghi-Lari

Address: Department of Water Science and Engineering,
University of Hormozgan, Iran

Email: adnan.sadeghilari@hormozgan.ac.ir

environmentally friendly technology that effectively removes pollutants. The aim of this research is to determine the efficiency and removal rate of nitrate and orthophosphate from wastewater effluent in different retention times and filter media composed of wood chips from different trees and mineral zeolite.

2. Materials and Methods

An anaerobic fixed-bed reactors with upflow were used to anaerobically remove nitrate and orthophosphate pollutants in wastewater effluent from an activated sludge treatment plant. To evaluate the efficiency of the biofiltration system, woodchips made from *Prosopis Juliflora* and local tamarisk trees and natural zeolite were used as natural filter materials and then the following treatments were applied with different filter media in hydraulic retention times of 12, 18 and 24 hours: 1- Reactor filled with woodchips made from *Prosopis Juliflora* woodchips and zeolite (PWZ), 2- woodchips made from *Prosopis Juliflora* (CPW), 3- woodchips made from tamarisk (TW), and 4- Woodchips made from *Prosopis Juliflora*-tamarisk and zeolite (PWZTW). To form biofilm on the filter materials, the flow-through was maintained by wastewater with a very low flow rate for 30 days in the filtration system. After biofilm formation, each column filled with filter materials was allowed to perform purification for about seven to eight days at each retention time and after this period, sampling was performed from both input and output flow. After sample collection, the samples were prepared to measure for parameters such as nitrate, orthophosphate and pH,

3. Results

The results showed that the nitrate and orthophosphate removal efficiencies varied depending on the filter media and the retention time. For nitrate removal, the PWZ treatment had the highest average efficiency of 82.72% across all retention times, while the CPW treatment had the lowest average efficiency of 72.93%. The maximum nitrate removal of 97.35% was achieved by the PWZ treatment at a 24-hour retention time, and the minimum nitrate removal of 62.08% was achieved by the CPW treatment at a 12-hour retention time. For orthophosphate removal, the PWZ treatment had the highest average efficiency of 84.04% across all retention times, while the TW treatment had the lowest average efficiency of 63.94%. The maximum orthophosphate removal of 89.75% was achieved by the PWZTW treatment at an 18-hour retention time, and the minimum orthophosphate removal of 60.60% was achieved by the TW treatment at a 12-hour retention time. The pH values in the effluent were between 7.7 and 8.4, which were favorable for the activity of biofilms formed on wood chips and zeolite.,

4. Discussion and Conclusion

This research revealed that the pH in all the biofilters used was in the suitable range of 7.7 to 8.4 for the activity of anaerobic microorganisms. with increasing retention time, removal efficiency in the effluent of all treatments significantly increased. The nitrate removal in the treatments that included zeolite was lower than the treatments without it, indicating that the combination of mineral material zeolite with organic materials such as wood chips made from trees can have a very positive effect on pollutant removal. Regarding orthophosphate, the combination of zeolite with wood chips also improved the removal of this pollutant. In all treatments, the pollutant removal rates increased with increasing flow rate (decreasing retention time).

5. Six important references

- 1) Wang, A., Luo, X., Li, X., Huang, D., Huang, Q., Zhang, X.-X., & Chen, W. (2023). Bioaugmentation of woodchip bioreactors by *Pseudomonas nicosulfuronedens* D1-1 with functional species enrichment. *Bioresource Technology*, 385, 129309.
- 2) Zhao, J., He, Q., Chen, N., Peng, T., & Feng, C. (2020). Denitrification behavior in a woodchip-packed bioreactor with gradient filling for nitrate-contaminated water treatment. *Biochemical Engineering Journal*, 154, 107454.
- 3) Nordström, A., & Herbert, R. (2019). Identification of the temporal control on nitrate removal rate variability in a denitrifying woodchip bioreactor. *Ecological Engineering: The Journal of Ecotechnology*, 127, 88–95. doi: 10.1016/j.ecoleng.2018.11.015

- 4) von Ahnen, M., Pedersen, P. B., Dalsgaard, J. W. S., & Technology. (2018). Nitrate removal from aquaculture effluents using woodchip bioreactors improved by adding sulfur granules and crushed seashells. *77*(9), 2301–2310.
- 5) Li, S., Cooke, R. A., Wang, L., Ma, F., & Bhattarai, R. (2017). Characterization of fly ash ceramic pellet for phosphorus removal. *Journal of Environmental Management*, *189*, 67–74.
- 6) Sosa-Hernández, D. B., Viguera-Cortés, J. M., & Garzón-Zúñiga, M. A. (2016). Mesquite wood chips (*Prosopis*) as filter media in a biofilter system for municipal wastewater treatment. *Water Science and Technology*, *73*(6), 1454–1462.

Conflict of Interest

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Acknowledgments

We would like to express our gratitude and appreciation to the Bandar Abbas Environmental Laboratory Center for their cooperation in this research.

بررسی کارایی مواد فیلتری طبیعی در پالایش پساب سامانه تصفیه فاضلاب لجن فعال

سحر اسلامی فارسانی^۱، عدنان صادقی لاری^{۲*}، ولی علی پور^۳

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۰۵/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۹

پژوهشی

چکیده

در مناطق خشک، مانند ایران، کاهش شدید منابع آب تجدید پذیر و تداوم خشکسالی‌ها، استفاده مجدد از فاضلاب را ناگزیر می‌سازد. از طرفی حذف نیتروژن و فسفر از فاضلاب، به‌عنوان دو آلاینده خطرناک برای سلامت انسان و محیط‌زیست، بسیار بااهمیت می‌باشد. تحقیق حاضر باهدف بررسی کارایی مواد فیلتری طبیعی در حذف نیترات و ارتوفسفات از پساب خروجی یک سامانه تصفیه فاضلاب انجام شد. بدین منظور چهار بیورآکتور با ترکیب مواد فیلتری متفاوت شامل تراشه چوب کهور پاکستانی و زئولیت (PWZ)، تراشه چوب کهور پاکستانی (CPW)، تراشه چوب گز (TW)، تراشه چوب کهور پاکستانی، گز و زئولیت (PWZTW) ساخته شد. کارایی آن‌ها در حذف نیترات و ارتوفسفات در سه زمان نگهداشت هیدرولیکی ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعت مورد ارزیابی قرار گرفت. یافته‌ها نشان داد کارایی حذف نیترات در تیمارهای PWZ، CPW، TW و PWZTW در هر سه زمان نگهداشت به ترتیب برابر با ۸۲/۷۲، ۷۲/۹۳، ۷۶/۶۱ و ۸۱/۱۲ درصد است. بیشترین راندمان حذف نیترات در تیمار PWZ در زمان نگهداشت ۲۴ ساعت به میزان ۹۷/۳۵ درصد حاصل شد. کارایی حذف ارتوفسفات در تیمارهای ذکرشده به ترتیب ۷۷/۴۶، ۶۳/۹۴ و ۸۱/۶۰ درصد محاسبه شد.

واژه‌های کلیدی: ارتوفسفات، زئولیت، تراشه چوب، نیترات

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران، پست الکترونیکی: eslamisahar1369@gmail.com

^{۲*} استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران، پست الکترونیکی: adnan.sadeghilari@hormozgan.ac.ir (نویسنده مسئول)

^۳ دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان، بندرعباس، ایران، پست الکترونیکی: v_alip@yahoo.com

مقدمه

برای تداوم زندگی در جوامع امروزی، تأمین آب با کیفیت مناسب بسیار اهمیت دارد. با رشد جمعیت، آب‌های سطحی و زیرزمینی آلوده شده و برداشت بی‌رویه آب افزایش یافته، که باعث فشار بر منابع آب زیرزمینی قابل تجدید پذیر می‌شود. این مسئله همراه با توزیع نامتوازن منابع آب و خشکسالی در مناطق مختلف جهان، نیاز به منابع آب جدید و حفاظت از منابع آب موجود را افزایش می‌دهد. همچنین، حجم فاضلاب تصفیه‌شده که به محیط‌زیست دفع می‌شود، مشکلات بهداشتی و زیست‌محیطی زیادی ایجاد کرده است. بنابراین، با توجه به کاهش منابع آب و حجم زیاد فاضلاب تولیدی در مناطق مختلف، روش‌های ساده و کارآمد تصفیه تکمیلی فاضلاب یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است (J et al. 2016). ناکافی بودن تصفیه آب فاضلاب مشکلاتی را در جهت بهداشت عمومی و آلودگی محیط‌زیست به دنبال دارد، از همین رو تخلیه جریان خروجی به منابع پذیرنده و دفع ناقص آن‌ها منجر به آلودگی این منابع، به دلیل حضور بیش‌ازحد ماده آلی، میکروب‌ها و مواد مغذی، می‌شود. این مشکل به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه مشهود است. بنابراین، تصفیه این خروجی‌ها باید یک اولویت باشد. از طرفی به‌کارگیری تصفیه‌خانه‌های فاضلاب معمولی نیاز به پرسنل آموزش‌دیده و هزینه‌های بالای بهره‌برداری و نگهداری داشته که به‌کارگیری آن‌ها را محدود کرده است. همچنین، تصفیه‌خانه‌های فاضلاب طبیعی مانند وتلندها و راه‌حل‌های متمرکز شده دیگر، به دلیل کارایی، هزینه‌های کمتر برای تأسیس و نگهداری و نیازهای کمتر به عملیات و مدیریت، به‌عنوان جایگزین مهمی برای سیستم‌های معمولی در جوامع کوچک، به شمار می‌روند (Adrados et al. 2016; Sosa-Hernández et al. 2014). از دهه ۱۹۹۰ به بعد، فرآیند بیوفیلتراسیون در بستر آلی به‌عنوان یک جایگزین فناورانه متمرکز ارائه شده است. این سیستم‌ها نیازمند پشتیبانی فنی کم و یک فناوری پاک، ارزان و سازگار بوده که به‌طور مؤثری آلاینده‌ها را حذف می‌کند (Garzón-Zúñiga and Buelna 2011). این سیستم به کمک مواد فیلتر آلی به‌عنوان یک رزین آلی طبیعی عمل

نموده و مواد آلاینده را به نیتروژن، دی‌اکسید کربن و آب تجزیه می‌نماید (Garzón-Zúñiga et al. 2005). فاضلاب که وارد سیستم بیوفیلتراسیون در بستر آلی می‌شود، از طریق مواد آلی فیلتری، به‌وسیله چهار مکانیزم به‌طور هم‌زمان تصفیه می‌شود: الف- فیلتراسیون آرام و فعال، ب- جذب سطحی، جذب و تبادل یون، ج- تجزیه زیستی و د- گندزایی (Buelna et al. 2011). در فرآیند بیوفیلتراسیون در بستر آلی مواد جامد معلق نیز توسط این محیط نگه داشته می‌شوند. منافذ و میکرو منافذ مواد آلی فرایند جذب یون را تقویت می‌کند، که برای حذف فسفر، نیتروژن و برخی ترکیبات آلی پیچیده و سموم، بسیار بااهمیت می‌باشد. مواد فیلتر آلی رشد بیوفیلم را، که مسئول حذف آلاینده‌ها از فاضلاب بوده، تقویت می‌نماید. لذا در سیستم بیوفیلتراسیون در بستر آلی، تجزیه زیستی مکانیزم اصلی برای حذف مواد آلی بوده، ضمن اینکه میکروارگانیسم‌ها مواد مغذی را برای جذب و هضم غذا نیز مصرف می‌نمایند (Areerachakul 2014). رویکرد استفاده از مواد آلی با هدف نیترات‌زدایی (حذف نیتروژن نیتراته) در این‌گونه سیستم‌ها استفاده از یک منبع کربن جامد می‌باشد، لذا استفاده از تراشه‌های چوب و سایر بسترهای حاوی کربن، نویدهای زیادی جهت نیترات‌زدایی نشان داده‌اند و در مطالعات متعدد صورت گرفته استفاده از تراشه‌های چوب و سایر مواد طبیعی حاوی کربن منجر به کاهش قابل‌ملاحظه نیترات در جریان خروجی از این‌گونه بیوراکتورها گردیده است (García et al. 2016; Jaynes et al. 2008; Li et al. 2016, 2018; Robertson and Merkle 2009; Schipper et al. 2010). هم‌چنین پژوهش‌های مختلفی بر روی بیوراکتور تراشه چوب برای تعیین عوامل مؤثر بر راندمان حذف نیترات و سرعت حذف انجام شده است (Li et al. 2018; Nojiri et al. 2009; Schipper et al. 2010). زمان‌ماند (زمان نگهداشت هیدرولیکی) یک پارامتر مهم است که با محدود کردن زمان تماس آب با باکتری‌های نیترات زدا و آزادسازی منبع کربن، به‌شدت بر حذف نیترات تأثیر می‌گذارد (Hoover et al. 2016; Lepine et al. 2016). درعین حال، سطح اکسیژن محلول و pH آب نیز بر عملکرد بیوراکتور تأثیر می‌گذارد (Thomas et al. 1994). در همین حال، حذف فسفر ارتوفسفاته، نیز از خروجی

هدف از انجام این تحقیق تعیین راندمان و نرخ حذف نیترات و ارتوفسفات از پساب فاضلاب در زمان‌های نگهداشت مختلف و محیط‌های فیلتری متفاوت با درصد ترکیب مختلف از تراشه‌های چوب کهور پاکستانی، گز و زئولیت می‌باشد.

تراشه‌های چوب گز و زئولیت و تراشه‌های کهور پاکستانی (PWZTW).

در این مطالعه به منظور تنظیم دبی ثابت ورودی به سیستم بیوفیلتراسیون از یک مخزن پلی اتیلن ۱۰۰ لیتری جهت ثابت نگه داشتن ارتفاع پساب در مخزن ۳۰ لیتری دارای شناور استفاده شد و سپس دبی خوراک ورودی (نرخ تزریق پساب فاضلاب) به بیو فیلتر از طریق شیرفلکه‌های نصب شده بر روی مخزن ۳۰ لیتری تنظیم گردید به طوری که جهت ایجاد شرایط یکسان محیطی برای هر چهار محیط فیلتری، به طور هم‌زمان هر چهارستون پر شده با مواد فیلتری تغذیه گردید. در شکل (۱) و جدول (۱) به ترتیب نمایی از بیوفیلترهای پر شده با مواد مختلف و درصد اختلاط هر یک از بیوفیلترها ارائه شده است.

این‌گونه سیستم‌ها بسیار بااهمیت می‌باشد. در بسیاری از مطالعات، مواد متعددی به دلیل توانایی آن‌ها در حذف فسفر محلول از آب‌های آلوده گزارش شده است. کینگ (۲۰۱۰) گزارش کردند که زئولیت، به‌عنوان یک ماده جاذب، قادر به حذف بیش از ۵۲ درصد فسفر می‌باشد (W. King et al.).

مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر جهت انجام آزمایش‌های موردنظر، از بیوراکتورهای بی‌هوای با بستر ثابت با جریان رو به بالا به منظور تجزیه بی‌هوای آلاینده‌های نیترات و فسفات موجود در پساب فاضلاب خروجی از یک تصفیه‌خانه لجن فعال مورد استفاده قرار گرفت. به منظور بررسی راندمان سیستم بیوفیلتراسیون، از تراشه‌های چوب کهور پاکستانی و گز موجود در محل و زئولیت طبیعی به‌عنوان مواد فیلتری مورد استفاده قرار گرفت و سپس تیمارهای زیر با محیط‌های فیلتری متفاوت در زمان‌های نگهداشت هیدرولیکی ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعت اعمال گردید: بیوراکتور پر شده با تراشه‌های چوب کهور پاکستانی و زئولیت (PWZ^۴)، تراشه‌های چوب کهور پاکستانی (CPW^۵)، تراشه‌های چوب گز (TW^۵)،

⁵ Tamarix Woodchips

⁴ Prosopis juliflora Woodchips and Zeolite



شکل (۱): نمایی از سیستم بیوفیلتر ساخته شده از جنس پلکسی گلس

جدول (۱): درصد اختلاط مواد در هر یک از بیوفیلترها

درصد حجمی اختلاط Mixing Volumetric Percentage	نوع مواد فیلتری Material Filter	تیمار Treatment
۷۰	تراشه چوب کهور پاکستانی	PWZ
۳۰	زنولیت	
۱۰۰	تراشه چوب کهور پاکستانی	CPW
۱۰۰	تراشه چوب گر	TW
۳۳	تراشه چوب کهور پاکستانی	PWZTW
۳۴	زنولیت	

$$K_e = \frac{QL}{\Delta H} \quad (2)$$

در این معادله K_e هدایت هیدرولیکی مؤثر (L/T)، Q دبی جریان (L^3/T)، L طول ستون (L)، A سطح مقطع (L^2) و ΔH اختلاف تراز سطح آب در قسمت ورودی و خروجی (L) است.
میزان جرم مخصوص ظاهری با توجه به رابطه زیر به دست آمد:

$$\rho_b = \frac{M_s}{V_t} \quad (3)$$

در این معادله ρ_b جرم مخصوص ظاهری (M/L^3)، MS جرم خشک مواد (M)، V_t حجم کل ستون متخلخل (L^3) است.
مقدار پارامترهای اندازه‌گیری شده محیط فیلتری در جدول (۲) نشان داده شده است.

جهت اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی محیط جریان پس از پر کردن هر ستون با مواد فیلتری و نسبت‌های مدنظر، جهت جلوگیری از خروج ذرات و تثبیت بستر ابتدا و انتهای محیط فیلتری صفحات مشبک از جنس پلکسی‌گلس قرار داده شد و صفحات مشبک با سنگریزه و فوم اسفنجی نازک پوشیده شد سپس جریان آب شهری از پایین به سمت بالا برقرار و پارامترهای حجم مؤثر محیط متخلخل، تخلخل مؤثر، جرم مخصوص ظاهری و هدایت هیدرولیکی اشباع محیط متخلخل از روابط (۱)، (۲) و (۳) محاسبه گردید.

$$S = \frac{V_d}{V_t} \times 100 \quad (1)$$

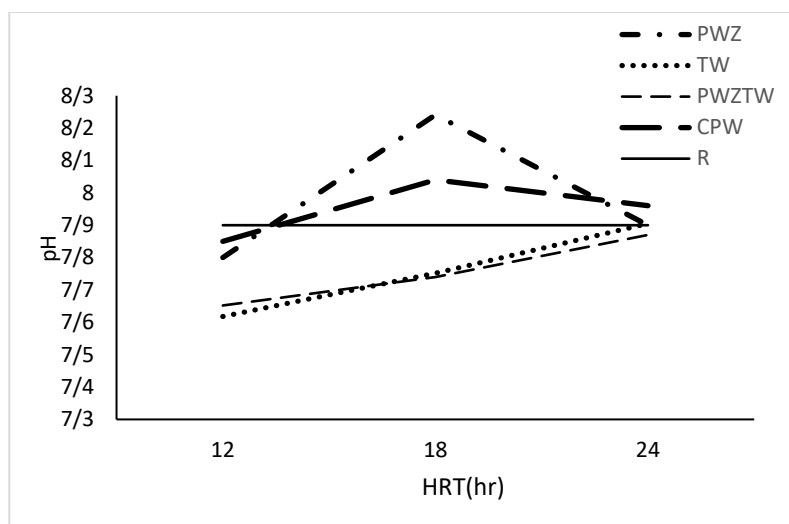
در این معادله، S تخلخل مؤثر (درصد)، V_d حجم آب زهکشی شده (L^3) و V_t کل حجم ستون اشباع (L^3) است. برای محاسبه هدایت هیدرولیکی مؤثر از روش نفوذسنج با بار ثابت استفاده گردید سپس از معادله دارسی هدایت هیدرولیکی اشباع هر چهار بیوفیلتر محاسبه گردید.

جدول (۲): خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی محیط متخلخل

جرم مخصوص ظاهری (کیلوگرم بر مترمکعب) Bulk Density (kg/m ³)	حجم مؤثر (مترمکعب) Effective volume (m ³)	درصد تخلخل مؤثر Percentage of Drainable Porosity	هدایت هیدرولیکی (متر بر روز) Hydraulic Conductivity (m/day)	تیمار Treatment
۳۲۲/۰۸	۶۰/۶	۰/۰۰۳۲۲	۲۹/۰۸	PWZ
۳۴۲/۶۱۶	۵۳/۲	۰/۰۰۲۸۲	۳/۴۶	CPW
۱۹۵/۷۵۳	۶۱/۹	۰/۰۰۳۲۹۱	۵۲/۱۸	TW
۳۴۷/۳۱۷	۵۷/۶	۰/۰۰۳۰۶	۳۳/۸۸	PWZTW

ساعت) جهت مقایسه کارایی و راندمان حذف آلاینده‌های نیترات و ارتوفسفات اعمال گردید. به همین منظور جهت

همان‌طور که قبلاً بیان گردید؛ تیمارهای آزمایشی شامل چهار تیمار اصلی (مواد فیلتری متفاوت) و سه تیمار فرعی (هر تیمار اصلی با سه زمان نگهداشت ۱۲، ۱۸ و ۲۴



شکل (۲): میانگین تغییرات pH تیمارهای مختلف در مقایسه با pH پساب فاضلاب ورودی به بیوفیلتر

تراشه چوب در طولانی مدت کاهش یافته و به سمت حد ثابتی میل می‌نماید. در این مطالعه حداقل و حداکثر pH در تمامی تیمارها و زمان‌های نگهداشت به ترتیب برابر با ۷/۶۱۸ و ۸/۲۴۱ اندازه‌گیری گردید. pH بهینه برای فعالیت باکتری‌های نیترات زدا در مطالعات گبیرت و همکاران (۲۰۰۸) بین ۵/۵ تا ۸ گزارش شده است (Gibert et al. 2008). بر اساس مطالعات رویز و همکاران (۲۰۰۳) در pH کمتر از ۶/۴۵ و بالاتر از ۸/۹۵ نیترات‌زدایی کاملاً متوقف می‌شود. همچنین طبق پژوهش‌های دوتا و همکاران (۲۰۱۴) pH کمتر از ۶/۵ برای میکروارگانیزم‌های بی‌هوازی نامطلوب است (Ruiz et al. 2003). لذا بر اساس مطالعات پیشین صورت گرفته محدوده‌ی pH مناسب برای تشکیل بیوفیلم و نیترات‌زدایی در این پژوهش مهیا بود.

جدول (۳) و نمودار (۴) به ترتیب تغییرات غلظت و نرخ حذف نیتروژن نیتراته را نشان می‌دهد. با توجه به جدول و نمودار مذکور در تمامی تیمارهای آزمایش با افزایش زمان نگهداشت هیدرولیکی غلظت نیترات در خروجی ستون‌ها کاهش و لذا راندمان حذف افزایش نشان داد. با مقایسه‌ی تیمارهای آزمایش می‌توان به این نتیجه رسید که در تیمارهایی که ماده‌ی اصلاحی زئولیت استفاده گردید (تیمارهای PWZ و PWZTW)، میزان راندمان حذف نیترات بیشتر از تیمارهایی بود که فقط از تراشه‌های چوب

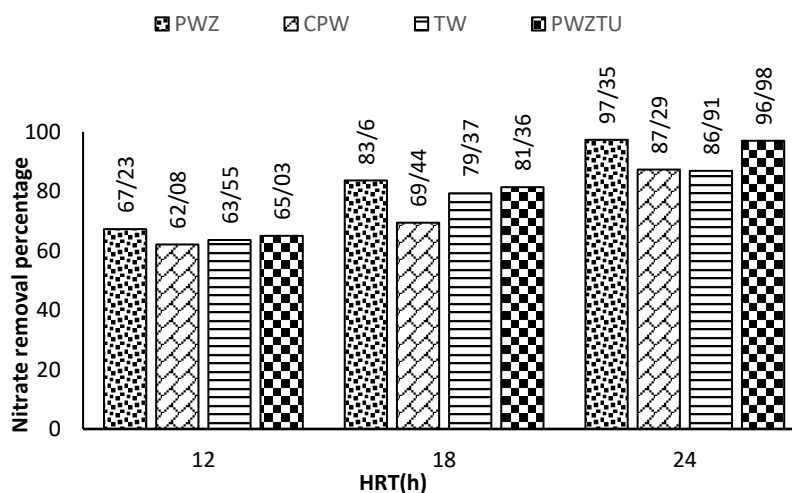
با توجه به نمودار (۲) میزان pH در تیمارهای PWZ و CPW نسبت به pH پساب ورودی به بیوفیلتر بیشتر بوده اما روند آن‌ها در هر یک از این دو تیمار تا زمان ماند ۱۸ ساعت افزایشی و سپس تا زمان ماند طولانی‌تر ۲۴ ساعت کاهش نشان داد. این افزایش و سپس کاهش pH را می‌توان به هیدرولیز کربنات کلسیم و کربنات منیزیم موجود در زئولیت (Mažeikiene et al. 2008) و همچنین مربوط به شسته شدن اسیدهای آلی نظیر فولویک اسید موجود در تراشه‌های چوب نسبت داد (Garzón-Zúñiga and Buelna 2011). در واقع کاهش pH حاصل نیترات‌زدایی هتروتروفیک بوده که منجر به تجزیه خرده چوب‌ها توسط میکروارگانیزم‌های فعال در محیط بی‌هوازی شده و به‌طور کلی میزان H^+ آزاد شده توسط تجزیه چوب بیشتر از OH^- بوده در نتیجه منجر به کاهش pH شده است. این نتایج مشابه بررسی‌های ژاو و همکاران ۲۰۲۰ بوده است (Zhao et al. 2020). در تیمارهای PWZTW و TW هر سه زمان نگهداشت هیدرولیکی میزان pH پایین‌تر از پساب ورودی به بیوفیلتر بوده که دلیل این امر نیز همانند استدلال ذکر شده در بالا می‌باشد. البته اثر کاهش pH توسط تراشه‌های چوب گز بیشتر از اثر افزایش pH توسط زئولیت و تراشه‌های چوب کهور پاکستانی بوده است. به‌طور کلی pH جریان خروجی از محیط‌های تشکیل شده از

برآورد گردید، همچنین کمترین غلظت و راندمان حذف نیترات در تیمار CPW و در زمان نگهداشت ۱۲ ساعت مشاهده شد، که مقادیر آن برابر با ۳/۰۹ میلی‌گرم بر لیتر و ۶۲/۰۸ درصد اندازه‌گیری و محاسبه گردید.

استفاده شده بود (تیمارهای CPW و TW) و دلالت بر تأثیر زیاد این ماده اصلاحی در حذف این آلاینده دارد. بیشترین غلظت و راندمان حذف نیترات در تیمار PWZ و در زمان نگهداشت هیدرولیکی ۲۴ ساعت اتفاق افتاد و برابر با ۰/۲۱ میلی‌گرم بر لیتر، ۹۷/۳۵ درصد اندازه‌گیری و

جدول (۳): تغییرات غلظت نیتروژن نیتراته در تیمارهای مختلف (میلی‌گرم بر لیتر)

تیمارهای آزمایش Treatment	زمان نگهداشت هیدرولیکی (ساعت) Hydraulic Retention Time (hr)	۱۲	۱۸	۲۴
PWZ		۲/۶۷	۱/۳۲	۰/۲۱
CPW		۳/۰۹	۲/۴۶	۱/۰۱
TW		۲/۹۷	۱/۶۶	۱/۰۴
PWZTW		۲/۸۵	۱/۵۰	۰/۲۴



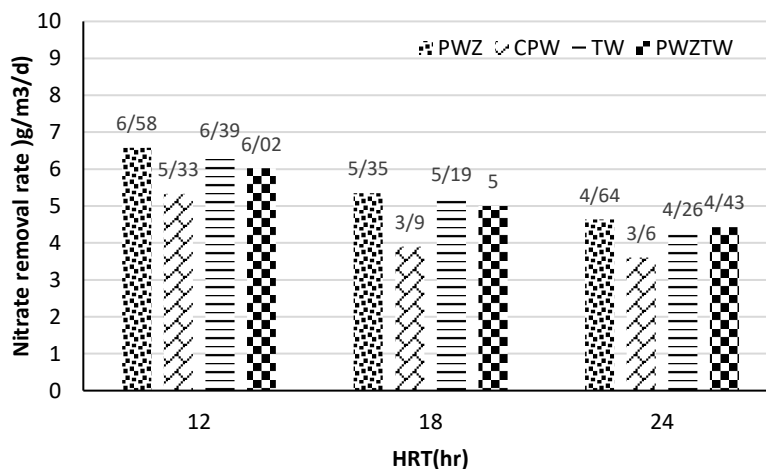
نمودار (۳): راندمان حذف نیترات تیمارهای آزمایش در زمان‌های نگهداشت هیدرولیکی متفاوت

بررسی‌های صورت گرفته توسط هوور و همکاران (۲۰۱۶) با بیوراکتورهای پرشده با تراشه‌های چوب در زمان نگهداشت ۲ تا ۲۴ ساعت و سه غلظت نیترات ۱۰، ۳۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، میانگین حذف نیترات را بین ۸ تا ۵۵ درصد گزارش کردند (Hoover et al. 2016). همچنین چون و همکاران (۲۰۰۹) مطالعه‌ای را بر روی بیوراکتورهای مقیاس آزمایشگاهی پرشده با تراشه‌های چوب و با غلظت نیترات ورودی بین ۷ تا ۳۳/۷ میلی‌گرم در لیتر، با زمان‌های نگهداشت کم‌وزیاد (بین ۲/۷ ساعت تا ۲ هفته) انجام دادند

طبق تحقیقات کوآندا و هوا (۲۰۲۱) راندمان حذف نیترات در بیوراکتورهای تراشه چوب تحت تأثیر عواملی از جمله غلظت نیترات ورودی، زمان نگهداشت هیدرولیکی و دمای آب قرار دارد (Kouanda and Hua 2021). همچنین طبق مطالعات هوور و همکاران (۲۰۱۶) و لیپن و همکاران (۲۰۱۶) زمان ماند یک پارامتر مهم است که با محدود کردن زمان تماس آب با باکتری‌های نیترات زدا و انتشار منبع کربن، به‌شدت بر حذف نیترات تأثیر می‌گذارد (Hoover et al. 2016; Lepine et al. 2016).

نمودار (۴) نرخ حذف نیترات تیمارهای آزمایش در زمان‌های نگهداشت هیدرولیکی ۱۲، ۱۸ و ۲۴ را نشان می‌دهد. در این مطالعه محدوده‌ی نرخ حذف نیترات بین ۳/۶۰ تا ۶/۵۸ گرم نیترات بر مترمکعب در روز محاسبه گردید. بیشترین و کمترین نرخ حذف نیترات به میزان ۶/۵۸ و ۳/۶ گرم نیترات بر مترمکعب در روز به ترتیب در تیمار CPW در زمان نگهداشت ۲۴ ساعت و تیمار PWZ در زمان نگهداشت ۱۲ ساعت رخ داد.

و گزارش دادند که در زمان‌های نگهداشت بالا نیترات تا ۱۰۰ درصد و در زمان‌های نگهداشت پایین بین ۴۰-۱۰ درصد حذف شده است (Chun et al. 2009). لی و همکاران (۲۰۱۸) با تحقیق بر روی بیوراكتور پر شده با تراشه‌های چوبی با پساب ورودی حاوی نیترات با غلظت ۱۲ میلی‌گرم در لیتر میزان حذف نیترات را در زمان نگهداشت هیدرولیکی ۰/۶ تا ۴ ساعت ۴۹ تا ۸۵ درصد گزارش کردند (Li et al. 2018).



نمودار (۴): نرخ حذف نیترات تیمارهای آزمایش در زمان‌های نگهداشت هیدرولیکی متفاوت

حذف نیترات در ارتباط با پارامترهای زمان نگهداشت هیدرولیکی و میزان غلظت نیترات ورودی است. جدول (۴) تغییرات میزان ارتوفسفات را در زمان‌های نگهداشت مختلف برای جریان ورودی و خروجی توسط هرکدام از تیمارهای آزمایش نشان می‌دهد. میزان ارتوفسفات در پساب ورودی به بیوراكتور به‌طور میانگین ۸/۱ میلی‌گرم بر لیتر اندازه‌گیری گردید. با توجه به جدول (۴) و نمودار (۵) میزان غلظت و نرخ حذف ارتوفسفات در خروجی بیوفیلتر در تیمارهای حاوی ژئولیت (PWZ و PWZTW) کاهش بیشتری در مقایسه با تیمارهای فاقد ژئولیت و فقط حاوی تراشه چوب (CPW و TW) نشان داد. برخلاف نیترات، که با افزایش زمان ماند غلظت کاهش و نرخ حذف افزایش یافت، اما در مورد ارتوفسفات در تمامی تیمارها بیشترین کاهش غلظت جریان خروجی در زمان ماند ۱۸ ساعت رخ داد. کمترین غلظت و بیشترین راندمان حذف

نرخ حذف نیترات گزارش شده توسط آن و همکاران (۲۰۱۸) بسیار پایین‌تر از تحقیق حاضر بود و دلیل این امر را می‌توان به غلظت نیترات ورودی زیاد در این تحقیق (۳۰ میلی‌گرم در لیتر) و دبی جریان عبوری متفاوت (۰/۲ لیتر در ساعت) نسبت داد (von Ahnen et al. 2018). هم‌چنین در مطالعات هوور و همکاران (۲۰۱۵)، لی و همکاران (۲۰۱۸) و گودوین و همکاران (۲۰۱۵)، این محققین به نرخ حذف نیترات کمتری نسبت به پژوهش حاضر دست یافتند. میانگین زمان نگهداشت هیدرولیکی و میانگین نیترات ورودی در مطالعات این محققان به ترتیب ۱۲ ساعت و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، ۱۲ ساعت و ۲/۸ میلی‌گرم بر لیتر و ۴/۹ ساعت و ۱۲ میلی‌گرم بر لیتر بود (Goodwin et al. 2015; Huang et al. 2015; Li et al. 2018). لذا از مجموعه مطالعات پیشین و حاضر می‌توان به این نکته دست‌یافت که بیشترین تأثیر در میزان نرخ

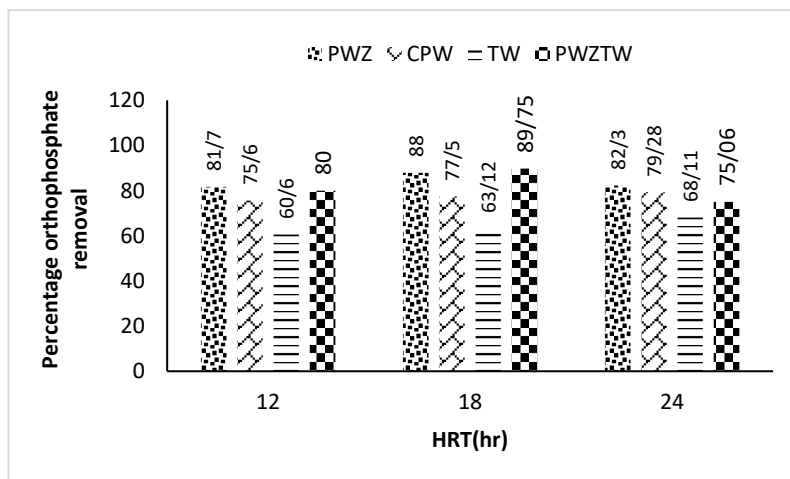


با ۳/۲۳ میلی گرم بر لیتر و ۶۰/۶ درصد مربوط به تیمار TW رخ داد.

ارتوفسفات به ترتیب برابر با ۰/۸۲ میلی گرم بر لیتر و ۸۹/۷۵ درصد در تیمار PWZTW و زمان ماند ۱۸ ساعت و بیشترین غلظت و کمترین راندمان حذف ارتوفسفات به ترتیب برابر

جدول (۴): تغییرات غلظت فسفر ارتوفسفاته در جریان ورودی و خروجی کلیه تیمارها بر حسب میلی گرم بر لیتر

زمان نگهداشت هیدرولیکی (ساعت)			تیمارهای آزمایش
Hydraulic Retention Time (hr)			Treatment
۲۴	۱۸	۱۲	
۱/۴۲	۰/۹۵	۱/۵۰	PWZ
۱/۶۷	۱/۸۰	۲/۰۰	CPW
۲/۵۷	۲/۹۵	۳/۲۳	TW
۲/۰۱	۰/۸۲	۱/۶۴	PWZTW



نمودار (۵): راندمان حذف ارتوفسفات تیمارهای آزمایش زمان‌های نگهداشت هیدرولیکی متفاوت

هم‌چنین بیان کردند که در شرایط بی‌هوازی یون‌های فسفات به فسفر رادیکال تبدیل و متعاقباً این فسفر رادیکال توسط میکروارگانیسم‌های ترسیب دهنده‌ی فسفات جذب می‌شود. این محققین به این نتیجه دست یافتند که سطح جذب کلینوپتیلولایت فعال بوده و فرآیند حذف علاوه بر

رضایی و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر ژئولیت کلینوپتیلولایت را بر روی حذف فسفات در یک بیوراکتور در یک دوره ۳۳ روز و در زمان نگهداشت هیدرولیکی ۸ ساعت بررسی و مشاهده کردند که میزان حذف ارتوفسفات در روزهای اول آزمایش بیش از ۷۰ درصد بوده است. آن‌ها

محلول را داشته باشند، ضمن اینکه که تجزیه زیستی خرده‌های چوب در توانایی حذف فسفات تأثیرگذار می‌باشد (Hua et al. 2016).

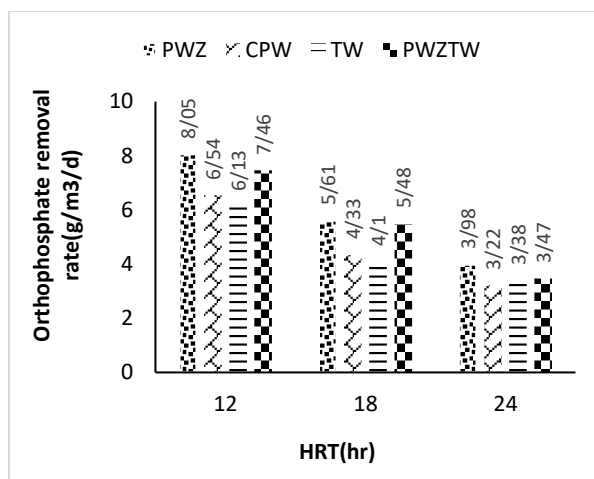
با توجه به نمودار (۶) کمترین و بیشترین نرخ حذف ارتوفسفات ۳/۲۲ و ۸/۰۵ گرم بر مترمکعب در روز به ترتیب برای تیمار TW در زمان‌ماند ۲۴ ساعت و PWZ در زمان‌ماند ۱۲ ساعت محاسبه شد، در واقع هر چه دبی تزریق خوراک به بیوفیلتر بیشتر (زمان نگهداشت هیدرولیکی کمتر) و میزان غلظت در جریان خروجی کمتر باشد، نرخ حذف آلاینده افزایش خواهد یافت. ارتوفسفات ایفا کرده است.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که pH در تمامی بیوفیلترهای بکار برده شده در محدوده مناسب ۷/۷ تا ۸/۰۴ برای فعالیت میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی قرار داشت. میزان غلظت نیترات و راندمان حذف در خروجی همه تیمارها با افزایش زمان نگهداشت به ترتیب روند کاهشی و افزایشی پیدا کرد. میزان حذف نیترات در تیمارهایی که شامل زئولیت بودند بیشتر از دو تیمار دیگر کاهش نشان داد و گویای این موضوع است که ترکیب ماده معدنی زئولیت با مواد آلی نظیر تراشه‌های چوب درختان می‌تواند تأثیر بسیار مثبتی در حذف آلاینده‌ها داشته باشد. در خصوص ارتوفسفات نیز ترکیب زئولیت با تراشه‌های چوب منجر به بهبود حذف این آلاینده گردید. در تمامی تیمارها نرخ حذف آلاینده‌ها با کاهش غلظت و افزایش دبی (کاهش زمان‌ماند) روند افزایش از خود نشان داد.

حذف بیولوژیکی شامل جذب سطحی نیز می‌باشد، یون‌های فسفر فسفات توسط کلینوپتیلولایت جذب شده و سپس با اشباع شدن کلینوپتیلولایت جذب کاهش یافته تا اینکه به‌طور کامل متوقف می‌شود (Rezaei et al. 2015).

هوا و همکاران (۲۰۱۶) حذف فسفات را در بیوراکتورهای تراشه چوب مقیاس آزمایشگاهی بررسی کردند و عنوان کردند حذف فسفات توسط تراشه‌های چوب ممکن است با مکانیسم‌های مختلفی اتفاق بیفتد. در ابتدا رشد میکروبی در بیوراکتور مقادیر خاصی از فسفات را مصرف می‌کند. سپس تراشه‌های چوب ممکن است توانایی جذب فسفات از



نمودار (۶): نرخ حذف ارتوفسفات تیمارهای آزمایش در زمان-های نگهداشت هیدرولیکی متفاوت

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و مقایسه تیمارها می‌توان بیان کرد که افزودن ماده‌ی اصلاحی زئولیت به تراشه‌های چوب تأثیر مثبتی در بالا بردن راندمان و نرخ حذف

منابع

- Adrados, B., Sánchez, O., Arias, C. A., Becares, E., Garrido, L., Mas, J., Brix, H., and Moratón, J. (2014). "Microbial communities from different types of natural wastewater treatment systems: vertical and horizontal flow constructed wetlands and biofilters." *Water research*, 55, 304–312.
- von Ahnen, M., Pedersen, P. B., Dalsgaard, J. %J W. S., and Technology. (2018). "Nitrate removal from aquaculture effluents using woodchip bioreactors improved by adding sulfur granules and crushed seashells." 77(9), 2301–2310.



- Areerachakul, N. (2014). "Performance of granular activated carbon comparing with Activated Carbon (bagasse) biofiltration in wastewater treatment." World Congress on Sustainable Technologies (WCST-2014), 31–34.
- Buelna, G., Garzon, M., and Moeller Chavez, G. (2011). "Los biofiltros de empaque orgánico: una alternativa simple, robusta y eficiente para el tratamiento de aguas residuales en zonas rurales." *Ide@s CONCYTEG*, 6, 541–552.
- Chun, J. A., Cooke, R. A., Eheart, J. W., and Kang, M. S. %J B. engineering. (2009). "Estimation of flow and transport parameters for woodchip-based bioreactors: I. laboratory-scale bioreactor." 104(3), 384–395.
- García, A. M., Alexander, R. B., Arnold, J. G., Norfleet, L., White, M. J., Robertson, D. M., and Schwarz, G. (2016). "Regional Effects of Agricultural Conservation Practices on Nutrient Transport in the Upper Mississippi River Basin." *Environmental Science & Technology*, 50(13), 6991–7000.
- Garzón-Zúñiga, M. A., and Buelna, G. (2011). "Treatment of wastewater from a school in a decentralized filtration system by percolation over organic packing media." *Water Science and Technology*, 64(5), 1169–1177.
- Garzón-Zúñiga, M., Lessard, P., Aubry, G., and Buelna, G. (2005). "Nitrogen elimination mechanisms in an organic media aerated biofilter treating pig manure." *Environmental technology*, 26(4), 361–372.
- Gibert, O., Pomierny, S., Rowe, I., and Kalin, R. M. (2008). "Selection of organic substrates as potential reactive materials for use in a denitrification permeable reactive barrier (PRB)." *Bioresource technology*, England, 99(16), 7587–7596.
- Goodwin, G. E., Bhattarai, R., and Cooke, R. (2015). "Synergism in nitrate and orthophosphate removal in subsurface bioreactors." *Ecological Engineering*, 84, 559–568.
- Hoover, N. L., Bhandari, A., Soupir, M. L., and Moorman, T. B. (2016). "Woodchip denitrification bioreactors: Impact of temperature and hydraulic retention time on nitrate removal." *Journal of environmental quality*, 45(3), 803–812.
- Hua, G., Salo, M. W., Schmit, C. G., and Hay, C. H. %J W. research. (2016). "Nitrate and phosphate removal from agricultural subsurface drainage using laboratory woodchip bioreactors and recycled steel byproduct filters." 102, 180–189.
- Huang, G., Huang, Y., Hu, H., Liu, F., Zhang, Y., and Deng, R. %J C. (2015). "Remediation of nitrate–nitrogen contaminated groundwater using a pilot-scale two-layer heterotrophic–autotrophic denitrification permeable reactive barrier with spongy iron/pine bark." 130, 8–16.
- J, H., L, A., and H, A. (2016). "Assessing Changes in Quality of the Treated Wastewater by Passing through a Soil Column for Irrigation of Agricultural Crops." *Journal of Water Research in Agriculture*, 30(3), 417–429.
- Jaynes, D. B., Kaspar, T. C., Moorman, T. B., and Parkin, T. B. %J J. of environmental quality. (2008). "In situ bioreactors and deep drain-pipe installation to reduce nitrate losses in artificially drained fields." 37(2), 429–436.
- Kouanda, A., and Hua, G. (2021). "Determination of nitrate removal kinetics model parameters in woodchip bioreactors." *Water Research*, 195, 116974.
- Lepine, C., Christianson, L., Sharrer, K., and Summerfelt, S. (2016). "Optimizing hydraulic retention times in denitrifying woodchip bioreactors treating recirculating aquaculture system wastewater." *Journal of environmental quality*, 45(3), 813–821.



- Li, R., Feng, C., Hu, W., Xi, B., Chen, N., Zhao, B., Liu, Y., Hao, C., and Pu, J. (2016). "Woodchip-sulfur based heterotrophic and autotrophic denitrification (WSHAD) process for nitrate contaminated water remediation." *Water research, England*, 89, 171–179.
- Li, S., Cooke, R. A., Huang, X., Christianson, L., and Bhattarai, R. (2018). "Evaluation of fly ash pellets for phosphorus removal in a laboratory scale denitrifying bioreactor." *Journal of environmental management*, 207, 269–275.
- Li, S., Cooke, R. A., Wang, L., Ma, F., and Bhattarai, R. (2017). "Characterization of fly ash ceramic pellet for phosphorus removal." *Journal of environmental management*, 189, 67–74.
- Mažeikiene, A., Valentukevičiene, M., Rimeika, M., Matuzevičius, A. B., and Dauknys, R. (2008). "Removal of nitrates and ammonium ions from water using natural sorbent zeolite (clinoptilolite)." *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management, Taylor & Francis*, 16(1), 38–44.
- MOOPAM, R. %J R. K. (1999). "Manual of oceanographic observations and pollutant analysis methods." 1, 20.
- Nojiri, M., Koteishi, H., Nakagami, T., Kobayashi, K., Inoue, T., Yamaguchi, K., and Suzuki, S. (2009). "Structural basis of inter-protein electron transfer for nitrite reduction in denitrification ." *Nature*, 462(7269), 117–120.
- Rezaei, M., Mehrnia, M. R., Sarrafzadeh, M. H., and Aroon, M. A. (2015). "Effect of clinoptilolite addition on nutrient removal in a membrane bioreactor." *Desalination and Water Treatment, Taylor & Francis*, 54(11), 2920–2927.
- Robertson, W. D., and Merkley, L. C. (2009). "In-stream bioreactor for agricultural nitrate treatment." *Journal of environmental quality, United States*, 38(1), 230–237.
- Ruiz, G., Jeison, D., and Chamy, R. (2003). "Nitrification with high nitrite accumulation for the treatment of wastewater with high ammonia concentration." *Water Research*, 37(6), 1371–1377.
- Schipper, L. A., Robertson, W. D., Gold, A. J., Jaynes, D. B., and Cameron, S. C. %J E. engineering. (2010). "Denitrifying bioreactors—an approach for reducing nitrate loads to receiving waters." 36(11), 1532–1543.
- Sosa-Hernández, D. B., Viguera-Cortés, J. M., and Garzón-Zúñiga, M. A. (2016). "Mesquite wood chips (*Prosopis*) as filter media in a biofilter system for municipal wastewater treatment." *Water Science and Technology*, 73(6), 1454–1462.
- Thomas, K. L., Lloyd, D., and Boddy, L. (1994). "Effects of oxygen, pH and nitrate concentration on denitrification by *Pseudomonas* species." *FEMS microbiology letters, England*, 118(1–2), 181–186.
- W. King, K., McDonald, J., F. Moore, J., G. Agrawal, S., N. Fischer, E., and C. Balogh, J. (2010). "Nutrient and Pesticide Removal from Laboratory-Simulated Tile Drainage Discharge." *Transactions of the ASABE, ASABE, St. Joseph, MI*, 53(3), 769–777.
- Zhao, J., He, Q., Chen, N., Peng, T., and Feng, C. (2020). "Denitrification behavior in a woodchip-packed bioreactor with gradient filling for nitrate-contaminated water treatment." *Biochemical Engineering Journal*, 154, 107454.