



## Research Paper

## Removal of Nitrate and Phosphate from Wastewater Effluent using Packed-Bed Bioreactor Filled with WoodChips, Coastal Sands, and Crushed Seashells

Mohammad Mellatkhah<sup>1</sup>, Adnan Sadeghi-Lari<sup>2\*</sup> and Vali Alipoor<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup>Assist. Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

<sup>3</sup>Assoc. Professor, Department of Environmental Health Engineering, Hormozgan University of Medical Sciences, Bandar Abbas, Iran

### Article information

Received: June 29, 2023

Revised: November 23, 2023

Accepted: November 25, 2023

### Keywords:

Natural Materials

Nitrogen

Phosphorus

Retention Time

\*Corresponding author:

[adnan.sadeghilari@hormozgan.ac.ir](mailto:adnan.sadeghilari@hormozgan.ac.ir)



### Abstract

Nitrate and orthophosphate in wastewater effluent have a considerable impact on the nutrient load of water bodies. Therefore, the discharging of nitrogenous and phosphorus compounds into water resources induces water pollution. The present study aimed to investigate the performance of natural materials in removing nitrate and orthophosphate from the effluent of a wastewater treatment plants. For this purpose, four laboratory-scale bioreactors with different combinations of filter materials, including woodchips (W), woodchips-beach sand (WS), woodchips-seashells (WSS), and woodchips-beach sand-seashells (WSSS) were applied to assess the performance of nitrate and orthophosphate removal in three hydraulic retention times of 12, 18 and 24 hr. The results showed that the highest removal performance of nitrate and orthophosphate belongs to the WSSS treatment by 92.19 and 96.57%, respectively. In addition, the retention time of 18 hr had the best performance in removing nitrate and orthophosphate in all bioreactors. The research findings revealed that the woodchips in combination with modifier materials have an excellent performance to remove nitrate and orthophosphate.

**How to cite this paper:** Mellatkhah, M., Sadeghi Lari, A., & Alipoor, V. (2024). Removal of nitrate and phosphate from wastewater using packed-bed bioreactors filled with woodchips, coastal sands, and crushed seashells. *Environ. Water Eng.*, 10(2), 181-195. <https://doi.org/10.22034/ewe.2023.404665.1874> (In Persian)



© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

Phosphorus and nitrogen are considered the most important sources of water pollution, usually finding in the effluent of wastewater treatment systems. Transfer of these pollutants to the receiving water bodies is the leading cause of enrichment of these resources. Nitrates are typically removed from wastewater using heterotrophic denitrifying reactors. These reactors require an organic carbon source. Hence, the application of these reactors in wastewater treatment systems is limited due to their requirement for an organic carbon source. A simple and cost-effective alternative technology for nitrate and phosphorus removal involves using filter materials such as wood chips as a carbon source. The present study aim to evaluate the feasibility of using the wood chips, seashells, and beach sand to remove nitrates and orthophosphates in the wastewater effluent.

### Material and Methods

An upflow anaerobic packed bed (UAPB) bioreactor was applied to treat wastewater from an activated sludge system (Fig. 1). Hence, wood chips were utilized as the carbon source, while crushed seashells and beach sand were served as the modifier materials. The physical and hydraulic characteristics of the porous media are presented in Table 1.

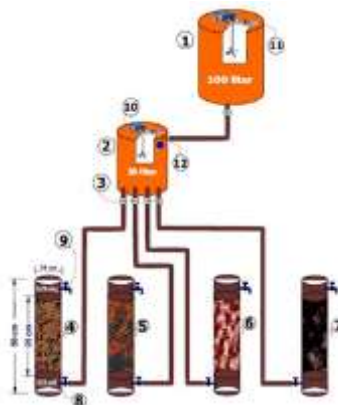


Fig. 1 Schematic drawing of upflow anaerobic packed bed (UAPB) system

In order to assess the performance of nitrate and orthophosphate removal, four laboratory-scale bioreactors with different combinations of filter materials, including Wood chips (W), wood chips-beach sands (WS), wood chips-crushed seashells (WSS) and wood chips-beach-sands-crushed-seashells (WSSS) were considered. Each

bioreactor was examined at three hydraulic retention times (HRTs) of 12, 18, and 24 hr. The efficiency of the UAPB reactor was evaluated by measuring parameters such as pH, nitrate, and orthophosphate in both the influent and effluent of the bioreactor.

Table 1 Physical and hydraulic characteristics of the porous media

Treatment	Hydraulic Conductivity (m/day)	Drainable Porosity (%)	Effective volume (m <sup>3</sup> )	Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )
W	43.5	73.4	0.0039	128.8
WS	26.8	65.4	0.0035	395.0
WSS	45.4	62.5	0.0033	412.3
WSSS	31.3	60.4	0.0032	670.4

To achieve the highest removal performance of nitrate and orthophosphate, biofilm formation on the filter materials is essential. Therefore, the flow was continuously established into all bioreactors for 30 days. After the biofilm formation, the inflow was adjusted based on the hydraulic retention times of 12, 18, and 24 hr. Fig. 2 shows the column of laboratory reactors in operation.



Fig. 2 Column of laboratory reactors in operation

### Results

The pH decreased by 3.78% in the W effluent compared to the influent. The pH reduction can be attributed to the release of folic acid in the wood chips and their leaching by the passing stream. The pH level increased by an average of 1% in the WS, WSS, and WSSS compared to the influent. This behavior is due to the alkaline properties of the used sands and the calcium carbonate present

in the seashell. The results showed that the UAPB system significantly reduces the nitrate concentration in the effluent compared to the influent. The HRT plays a very prominent role in reducing nitrate concentration. As the HRT increases, the nitrate removal efficiency (NRE) noticeably increases. According to Fig. 3, the highest NRE of 100% occurred in the WSSS at HRT of 24 hr, and the lowest NRE of 1.43% measured at HRT of 12 hr in the W treatment. The nitrate concentration reduction in the effluent can

be attributed to an increase in the residence time of microorganisms with the flow passing through the reactor bed, and consequently, more opportunity for pollutant degradation. The nitrate removal rate (NRR) decreased with increasing HRT, such that the NRR was computed 43.8 g/m<sup>3</sup>/d in the WSSS at HRT of 12 hr and 54.3 g/m<sup>3</sup>/d in the WSS at HRT of 24 hr. The increased NRR at lower HRT is due to the higher flow rate passing through the reactor bed.

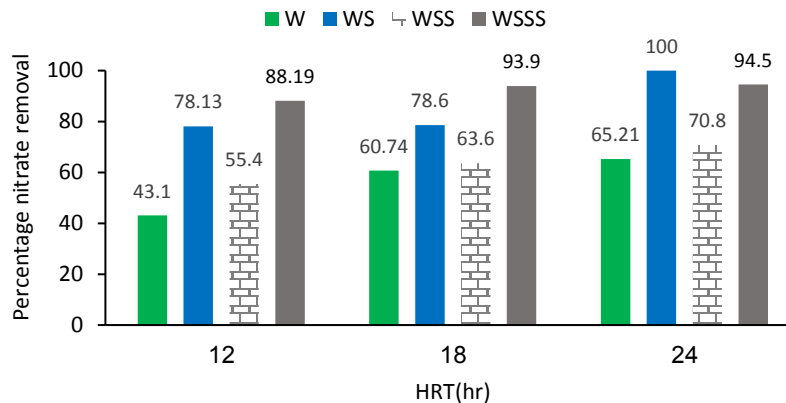


Fig. 3 Nitrate removal efficiency at the different treatments

### Conclusions

The present study evaluated the efficiency of natural filter materials such as wood chips, beach sand, and seashells for removing nitrate and orthophosphate pollutants under laboratory conditions. The findings encompassed the following:

- To remove nitrate and orthophosphate, using the wood chips in combination with modifier materials such as coastal sands and crushed seashells are very efficient in saturated environments
- The highest NRE and PRE values were achieved in the WSSS treatment, which utilized a mix of woodchips, crushed seashells, and beach sands.

- Among the different HRTs, an HRT of 18 hr showed better results in removing nitrate and orthophosphate.

### Acknowledgement

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

### Data Availability

The data obtained in this research is presented in the paper.

### Conflicts of interest

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



ISSN: 2476-3683

محیط‌زیست و مهندسی آب

Homepage: [www.jewe.ir](http://www.jewe.ir)

مقاله پژوهشی

## حذف نیترات و فسفات از پساب فاضلاب با استفاده از بیورآکتور آکنده با تراشه چوب، ماسه ساحلی و صدف دریایی

محمد ملت خواه<sup>۱</sup>، عدنان صادقی لاری<sup>۲\*</sup> و ولی علی پور<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران  
<sup>۲</sup> استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران  
<sup>۳</sup> دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان، بندرعباس، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ دریافت: [۱۴۰۲/۰۴/۰۸]	نیترات و ارتوفسفات حاصل از پساب فاضلاب نقش قابل توجهی در بار مواد مغذی منابع پذیرنده ایفا می‌نماید. از این رو تخلیه ترکیبات نیتروژن و فسفر به منابع آبی باعث آلودگی آب می‌شود. پژوهش 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 (W)، تراشه چوب و ماسه ساحلی (WS)، تراشه چوب و صدف دریایی (WSS) و تراشه چوب، ماسه ساحلی و صدف دریایی (WSSS) ساخته شد. کارایی آن‌ها در حذف نیترات و ارتوفسفات در سه زمان نگهداشت هیدرولیکی ۱۲، ۱۸ و ۲۴ hr مورد سنجش قرار گرفت. نتایج نشان داد بالاترین کارایی حذف نیترات و ارتوفسفات به ترتیب به میزان ۹۲/۱۹، ۹۶/۵۷٪ مربوط به تیمار WSSS است. همچنین در تمامی بیورآکتورها، زمان نگهداشت ۱۸ hr بهترین عملکرد در حذف نیترات و ارتوفسفات باز خود نشان داد. یافته‌های این پژوهش حاکی از کارایی بسیار مناسب تراشه چوب در ترکیب با مواد اصلاحی در حذف نیترات و ارتوفسفات بود.
تاریخ بازنگری: [۱۴۰۲/۰۹/۰۲]	
تاریخ پذیرش: [۱۴۰۲/۰۹/۰۴]	
واژه‌های کلیدی: زمان نگهداشت فسفر مواد طبیعی نیتروژن	
*نویسنده مسئول: <a href="mailto:adnan.sadeghilari@hormozgan.ac.ir">adnan.sadeghilari@hormozgan.ac.ir</a>	
	

### نحوه استناد به این مقاله:

ملت خواه، محمد، صادقی لاری، عدنان. & علی پور، ولی. (۱۴۰۳). حذف نیترات و فسفات از فاضلاب با استفاده از بیورآکتورهای پرشده با تراشه چوب، ماسه ساحلی و صدف دریایی. محیط‌زیست و مهندسی آب. ۱۸۱-۱۹۵  
<https://doi.org/10.22034/ewe.2023.404665.1874> (2)10



## ۱- مقدمه

فاضلاب، انتخاب مناسبی برای پالایش درجا بوده، چرا که برای بهره‌برداری از این‌گونه سامانه‌های تصفیه فاضلاب نیازی به پرسنل فنی باصلاحیت بالا ندارد و توسط خود کاربران قابل بهره‌برداری است. همچنین این سامانه‌ها جایگزین بسیار خوب در مکان‌های است که دچار کمبود آب بوده و اهمیت استفاده مجدد از آب را افزایش می‌دهد (Garzón-Zúñiga et al. 2011). از این‌رو یک سامانه تصفیه فاضلاب کم‌هزینه و کارآمد برای کشورهای درحال توسعه، استفاده از تراشه‌های چوب به‌عنوان مواد بالقوه در دسترس و ارزان‌قیمت، برای پاک‌سازی فاضلاب از آلاینده‌هایی همچون نیترات و فسفات در شرایط بی‌هوازی است (Kaetzel et al. 2018).

Tejedor et al. (2020) میزان کارایی حذف مواد آلی توسط بیوفیلترهای پر شده با تراشه‌های چوب و پوسته بادام‌زمینی را بر اساس شاخص اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD) <sup>۲</sup> به میزان ۸۰٪ گزارش و اذعان نمودند هر دو ماده از راندمان جذب بالایی برخوردار بوده و شرایط محیطی مناسبی را برای بیوفیلتر فراهم می‌کنند.

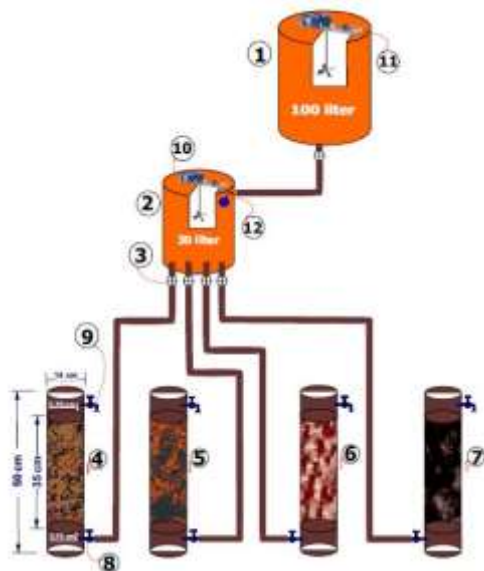
Sosa-Hernández et al. (2016) مقادیر کارایی حذف اکسیژن‌خواهی زیست‌شیمیایی (BOD) <sup>۳</sup>، COD و کل مواد جامد معلق (TSS) <sup>۴</sup> را به ترتیب ۹۲، ۷۲ و ۹۵٪ در یک محیط فیلتری پر شده با چوب درخت کهور عنوان نمودند. Li et al. (2018) از دو بیورآکتور با جریان افقی پر شده با تراشه‌های چوب و گلوله‌های خاکستر بادی جهت حذف نیترات و فسفات استفاده نمودند. این پژوهش‌گران اظهار داشتند فرایند نیترات‌زدایی توسط تراشه‌های چوب و گلوله‌های خاکستر بادی می‌تواند روش مناسبی برای حذف نیترات و ارتوفسفات در زهکش‌های زیرسطحی باشد. Von Ahnen et al. (2018) اذعان داشتند اضافه کردن گوگرد و صدف خورد شده به بیورآکتور پر شده با تراشه چوب، آهنگ حذف نیترات را افزایش می‌دهد. Chun et al. (2010) زه‌آب با غلظت نیترات بالا را با آهنگ جریان‌های مختلف از بیورآکتور پر شده با تراشه چوب عبور دادند. آنان اظهار داشتند کاهش نیترات کامل در زمان نگهداشت بالا و کاهش نیترات بین ۱۰ تا ۴۰٪ در زمان

امروزه با رشد جمعیت و افزایش شهرنشینی، حجم فاضلاب‌های تخلیه شده به منابع پذیرنده آب‌های سطحی نسبت به گذشته بسیار فزونی یافته است که این امر موجبات آلودگی این منابع را فراهم نموده است. از این‌رو برای کاهش اثرات سوء ناشی از تخلیه فاضلاب‌ها به محیط‌زیست و ارتقای سطح بهداشت عمومی در جوامع، بایستی نسبت به تصفیه آن اقدام نمود (Paserh et al. 2017). تصفیه فاضلاب توسط فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی صورت پذیرفته و امروزه روش‌های مبتنی بر فرایندهای بیولوژیکی به طور گسترده‌ای در تصفیه فاضلاب با مواد آلی زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرد (Hassani et al. 2009). فسفر و نیتروژن از مهم‌ترین آلاینده‌های منابع آبی پذیرنده محسوب می‌شود. انتقال این آلاینده از پساب تولید شده توسط تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به محیط‌زیست و منابع آبی پذیرنده، عامل اصلی غنی‌سازی این منابع است. به‌طور کلی تصفیه اولیه و ثانویه فاضلاب در حذف فسفر و نیتروژن بسیار مؤثر است. این آلاینده‌ها عموماً به شکل نیترات و ارتوفسفات به شکل محلول در پساب یافت می‌شود (Özacar et al. 2003; Paserh et al. 2017).

نیترات معمولاً از پساب‌های فاضلاب با استفاده از رآکتورهای نیترات‌زدای هتروتروف<sup>۱</sup> حذف می‌شود. از طرفی رآکتورهای نیترات‌زدای هتروتروف به منبع کربن آلی نیاز دارند، لذا کاربرد این بیورآکتورها را در بسیاری از سامانه‌های تصفیه به دلایل عملی و یا اقتصادی محدود می‌کند. یک فناوری جایگزین ساده و ارزان‌قیمت که برای حذف نیترات قابل استفاده بوده، مبتنی بر کاربرد مواد فیلتری مانند تراشه‌های چوب به‌عنوان منبع کربن است (Kaetzel et al. 2018). استفاده از محیط‌های آلی برای تصفیه بیولوژیکی فاضلاب ابتدا با استفاده از کودهای گیاهی در کانادا و ایالات متحده مورد مطالعه قرار گرفت. ابن محققین عملکرد خوبی برای حذف نیتروژن، جامدات معلق، اکسیژن‌خواهی شیمیایی و کلی‌فرم‌های مدفوعی گزارش کردند (Buelna et al. 1990)؛ لذا استفاده از مواد آلی در مکان‌های فاقد تصفیه‌خانه فاضلاب و دارای مشکلات دفع

<sup>3</sup>Biological Oxygen Demand<sup>4</sup>Total Suspended Solids<sup>1</sup>Heterotrophic denitrification<sup>2</sup>Chemical Oxygen Demand

- (W24)
۲. بیورآکتور پرشده با ترکیب تراشه‌های چوب کهور پاکستانی و ماسه‌های ساحلی (WS) در HRT های ۱۲ (WS12)، ۱۸ (WS18) و ۲۴ hr (WS24)
۳. بیورآکتور پرشده با ترکیب تراشه‌های چوب کهور پاکستانی و پوسته صدف‌های دریایی (WSS) <sup>۱</sup> خرد شده در HRT های ۱۲ (WSS12)، ۱۸ (WSS18) و ۲۴ hr (WSS24)
۴. بیورآکتور پرشده با ترکیب تراشه‌های چوب کهور پاکستانی، ماسه‌های ساحلی و پوسته صدف دریایی خرد شده (WSSS) <sup>۲</sup> در HRT های ۱۲ (WSSS12)، ۱۸ (WSSS18) و ۲۴ hr (WSSS24).



شکل ۱- طرح شماتیک از سامانه UAPB  
Fig. 1 Schematic of UAPB system

### ۲-۲- اجزاء بیورآکتور

به منظور بررسی آهنگ حذف آلاینده‌ها از پساب فاضلاب و انجام آزمایش‌ها به طور همزمان، چهار رآکتور از جنس پلکسی گلس<sup>۵</sup> در مقیاس آزمایشگاهی طراحی و ساخته شد. شماتیک این سامانه تصفیه به صورت شکل (۱) است. اجزاء بیورآکتور نشان داده شده در شکل (۱) که در این پژوهش

نگهداشت پایین رخ می‌دهد. از این رو استفاده از بیورآکتورهای پرشده با تراشه‌های چوب برای کاهش آلاینده‌ها در مزارع دارای سامانه زهکش لوله‌ای مناسب دانستند.

باتوجه به اینکه استفاده از روش‌های متداول تصفیه فاضلاب نظیر لجن فعال نیاز به سرمایه اولیه بسیار بالا و نیز هزینه بهره‌برداری زیادی دارد. براین اساس لزوم بهره‌گیری از روش‌های تصفیه که نیازمند سرمایه اولیه پایین بوده و دوستدار محیط‌زیست نیز باشد بسیار به چشم می‌خورد. یکی از این رویکردها استفاده از پالایه‌های زیستی موجود در محل نظیر تراشه‌های چوب درختان باهدف حذف نیترات و دیگر آلاینده‌ها از فاضلاب خانگی در شرایط بی‌هوازی است. لذا پژوهش حاضر با هدف امکان‌سنجی استفاده از مواد موجود در طبیعت استان هرمزگان نظیر تراشه‌های چوب درختان کهور، صدف دریایی و شن و ماسه ساحلی برای پالایش آلاینده‌های خطرناک نیترات و ارتوفسفات از پساب فاضلاب تصفیه‌شده در زمان‌های نگهداشت هیدرولیکی (HRT)<sup>۱</sup> و محیط‌های فیلتری متفاوت انجام شد.

### ۲- مواد و روش‌ها

#### ۲-۱- تیمارهای آزمایش

در این پژوهش از بیورآکتور بی‌هوازی با بستر ثابت با جریان روبه‌بالا (UAPB)<sup>۲</sup> به منظور تصفیه پساب فاضلاب خروجی از سامانه لجن فعال یک مجتمع خوابگاهی به‌عنوان خوراک بیورآکتور استفاده شد. براین اساس از تراشه‌های چوب به‌عنوان بستر بیوفیلم و از پوسته‌های خرد شده صدف و ماسه‌های ساحلی به‌عنوان مواد اصلاحی استفاده گردید. به منظور بررسی کارایی رآکتور UAPB پارامترهای مختلف نظیر pH، نیترات و ارتوفسفات در جریان ورودی به و خروجی از بیورآکتور اندازه‌گیری گردید. آزمایش شامل چهار محیط با مواد فیلتری متفاوت و سه زمان‌های نگهداشت مختلف به صورت زیر به منظور مقایسه کارایی و آهنگ حذف آلاینده‌ها از پساب فاضلاب (TW)<sup>۳</sup> اعمال شد:

۱. بیورآکتور پرشده با تراشه‌های چوب کهور پاکستانی (W) در HRT های ۱۲ (W12)، ۱۸ (W18) و ۲۴ hr

<sup>5</sup>Woodchips and Sand

<sup>6</sup>Woodchips and Sea Shell

<sup>7</sup>Woodchips and sand and Sea Shell

<sup>8</sup>Plexiglas

<sup>1</sup>Hydraulic Retention Time (HDR)

<sup>2</sup>Upflow Anaerobic Packed Bed (UAPB)

<sup>3</sup>Treated Wastewater

<sup>4</sup>Woodchip

۲-۳- مشخصات فیزیکی و هیدرولیکی مواد فیلتری توصیف اندازه ذرات مواد طبیعی استفاده شده به عنوان بستر فیلتر و درصد اختلاط هر یک از آنها در جدول (۱) ارائه شده است. دامنه اندازه تراشه‌های چوب عبور داده شده از الک شماره ۴۰ بین ۰/۴۲ و ۱۲/۷ mm متغیر بود. هم‌چنین اندازه مواد فیلتری صدف خرد شده و ماسه با عبور از الک شماره پنج بین ۲ الی ۴ mm اندازه‌گیری شد.

مورد استفاده قرار گرفت عبارت‌اند از: ۱- مخزن تغذیه ۱۰۰ l، ۲- مخزن ۳۰ l تأمین جریان ثابت ۳- شیر تنظیم‌کننده جریان خروجی از مخزن ۴- بیو فیلتر تیمار W، ۵- بیو فیلتر تیمار WS، ۶- بیوفیلتر تیمار WSS، ۷- بیو فیلتر WSSS، ۸- شیر تنظیم‌کننده جریان ورودی، ۹- شیر تنظیمی جریان خروجی ۱۰ و ۱۱- همزن ۱۲- شناور.

جدول ۱- اندازه مواد فیلتری و درصد اختلاط آنها

Table 1 Filter material size and their mixing percentage

Filter Material	Sieve Number	Length of Filter Material (mm)	Mixing Volumetric Percentage
W	40	0.420-12.70	100
WS	40	0.420-12.70	75
	5	2-4	25
WSS	40	0.420-12.70	75
	5	2-4	25
	40	0.420-12.70	50
WSSS	5	2-4	25
	5	2-4	25

اندازه‌گیری و میانگین دبی خروجی بر اساس رابطه (۲) محاسبه شد (Li et al. 2018).

$$Q = V/t \quad (2)$$

که،  $Q$  دبی جریان ( $L^3/T$ )،  $V$  حجم جریان خروجی ( $L^3$ ) و  $t$  مدت‌زمان ( $T$ ) است. برای محاسبه هدایت هیدرولیکی مؤثر از روش نفوذسنج با بار ثابت استفاده شد. سپس از معادله دارسی<sup>۵</sup> هدایت هیدرولیکی اشباع هر چهار بیورآکتور مطابق با رابطه (۳) محاسبه شد (Li et al. 2018).

$$K_e = QL/A\Delta H \quad (3)$$

که  $K_e$  هدایت هیدرولیکی مؤثر ( $L/T$ )،  $Q$  دبی جریان ( $L^3/T$ )،  $L$  طول ستون ( $L$ )،  $A$  سطح مقطع ( $L^2$ ) و  $\Delta H$  اختلاف سطح آب در قسمت ورودی و خروجی ( $L$ ) است. میزان جرم مخصوص ظاهری باتوجه به رابطه (۴) به دست آمد (Li et al. 2018).

$$\rho_b = M_s/V_t \quad (4)$$

که،  $\rho_b$  جرم مخصوص ظاهری ( $M/L^3$ )،  $M_s$  جرم خشک مواد

به‌منظور اندازه‌گیری خصوصیات هیدرولیکی و فیزیکی محیط متخلخل نظیر حجم مؤثر<sup>۱</sup>، تخلخل مؤثر<sup>۲</sup>، هدایت هیدرولیکی<sup>۳</sup>، جرم مخصوص ظاهری<sup>۴</sup> ستون‌ها با آب شهری، پس از پر کردن رآکتورها با نسبت‌های مدنظر، اشباع شد. سپس با باز کردن شیرهای خروجی و ورودی، جریان در رآکتورها از پایین‌به‌بالا برقرار شد. برای جلوگیری از خروج ذرات ریز بستر و تثبیت مناسب‌تر مواد، از سنگ‌ریزه‌هایی با سایز بین ۲۰-۵۰ mm بر روی سطح بالایی و پایینی مواد فیلتری استفاده شد. در ابتدا ستون‌ها به مدت ۲۴ hr به طور کامل اشباع شد، سپس میزان کل آب خروجی از ستون به‌وسیله بشر و استوانه مدرج اندازه‌گیری شد. تخلخل مؤثر به‌صورت درصد از کل حجم ستون اشباع طبق رابطه (۱) تخمین زده شد (Von Ahnen et al. 2018).

$$S = V_d/V_t \times 100 \quad (1)$$

که،  $S$  تخلخل مؤثر (درصد)،  $V_d$  حجم آب زهکشی شده ( $L^3$ ) و  $V_t$  کل حجم ستون اشباع ( $L^3$ ) است. حجم جریان خروجی به‌وسیله استوانه مدرج و زمان نیز با استفاده از زمان‌سنج

<sup>4</sup>Balk Density

<sup>5</sup>Darcy's law

<sup>1</sup>Effective volume

<sup>2</sup>Effective Porosity

<sup>3</sup>Hydraulic conductivity

$Q_r = V_e/t$  (۵)

که،  $Q_r$  دبی تزریق ( $L^3/T$ )،  $V_e$  حجم مؤثر رآکتور ( $L^3$ ) و  $t$  HRT (T) است. مشخصات فیزیکی و هیدرولیکی محیط متخلخل در جدول (۲) ارائه شده است.

$V_t$ ، (M) حجم کل ستون متخلخل ( $L^3$ ) است. تیمارهای آزمایشی شامل چهار تیمار اصلی با مواد فیلتری متفاوت و سه تیمار فرعی با سه HRT مجزا برای مقایسه کارایی حذف آلاینده‌ها از پساب فاضلاب اعمال شد. به همین منظور برای محاسبه دبی موردنیاز برای اعمال HRT ها از رابطه (۵) استفاده شد (Li et al. 2018).

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی محیط متخلخل

Table 2 Physical and hydraulic characteristics of the porous media

Treatment	Hydraulic Conductivity (m/day)	Drainable Porosity (%)	Effective volume ( $m^3$ )	Bulk Density ( $kg/m^3$ )
W	43.5	73.4	0.00390	128.81
WS	26.8	65.4	0.00346	395.08
WSS	45.4	62.5	0.00332	412.38
WSSS	31.3	60.4	0.00321	670.45

جریان ورودی و خروجی صورت پذیرفت. نمونه‌های برداشت شده از جریان ورودی به سامانه و خروجی از بیورآکتور برای اندازه‌گیری پارامترهایی مانند نیترات، ارتوفسفات و pH آماده‌سازی شد. لازم به ذکر است به‌منظور جلوگیری از خطاهای احتمالی و تغییر و تبدیل‌های بیولوژیکی و شیمیایی پارامترهای موردنظر خصوصاً نیترات، نمونه‌ها در یخچال نگهداری شد. به‌منظور انتقال آن‌ها به آزمایشگاه از جعبه‌هایی که با یخ پر شده بودند، استفاده شد (Li et al. 2018). میزان نیترات و ارتوفسفات با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری به ترتیب در طول موج‌های ۴۳۰ و ۲۲۰ nm اندازه‌گیری شد. pH نیز با استفاده از دستگاه WTW pH portable meter ProfiLine pH 3110 Set 2 ساخت کشور آلمان انجام شد.

## ۲-۵- محاسبه آهنک و کارایی حذف نیترات و

### ارتوفسفات

با استفاده از رابطه (۶) آهنک حذف نیترات و فسفات محاسبه شد (Li et al. 2018).

$$Removal\ rate = \frac{Q_{day} \times (C_{inf} - C_{eff})}{V_{act}} \quad (6)$$

که،  $Q_{day}$  کل حجم جریان عبوری از یک تیمار در طول یک روز،  $C_{inf}$  میانگین غلظت در جریان ورودی به سامانه،  $C_{eff}$  میانگین غلظت در جریان خروجی و  $V_{act}$  حجم مواد فیلتری قرار گرفته در داخل ستون‌ها است. کارایی حذف نیترات و فسفات نیز مطابق با رابطه (۷) محاسبه شد (Li et al. 2018).

$$Removal\ Efficiency = \frac{(C_{inf} - C_{eff})}{C_{inf}} \times 100 \quad (7)$$



شکل ۲- رآکتور در حال کار

Fig. 2 Reactor in operation

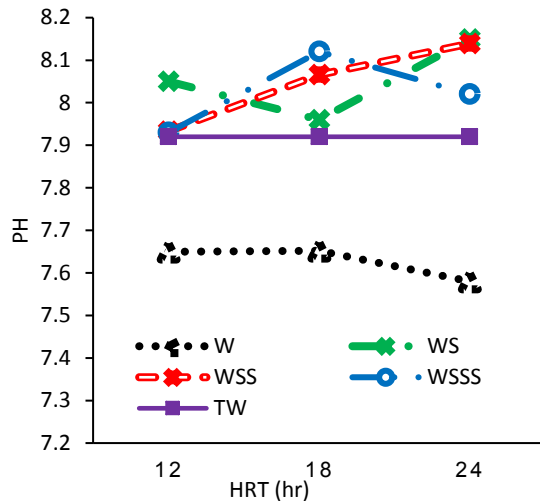
## ۲-۴- سامانه تصفیه فاضلاب و تشکیل بیوفیلم

به‌منظور تشکیل بیوفیلم موردنیاز برای انجام عمل تصفیه و حذف آلاینده‌ها، جریان فاضلاب به مدت ۳۰ day به‌طور مستمر در هر چهار بیورآکتور برقرار شد. پس از تشکیل بیوفیلم و مطابق با روش ذکرشده توسط Li et al. (2018) جریان ورودی به بیورآکتور بر اساس زمان‌های نگهداشت هیدرولیکی ۱۲، ۱۸ و ۲۴ hr برقرار شد. شکل (۲) نمایی از رآکتور در حال کار را نشان می‌دهد.

در هر مرحله از آزمایش به هر ستون پر شده با مواد فیلتری اجازه داده شد که حدوداً ۲۰۰ hr در هر HRT عمل پالایش را انجام داده و پس از گذشت این مدت، نمونه‌برداری از هر دو



از ۷ نیاز است (Gerardi 2003; Hiscock et al. 1991). همچنین طبق پژوهش‌های (Sedlak (1991) در pH زیر ۶/۵ حذف فسفر به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. باتوجه به دامنه تغییرات pH در خروجی تیمارها (۷/۸-۴/۱)، میزان pH به منظور حذف نیترات و ارتوفسفات در محدوده مناسبی در پژوهش حاضر قرار داشت.



شکل ۳- میانگین تغییرات pH در تیمارهای مختلف نسبت به pH خوراک بیورآکتور

Fig. 3 pH changes in different treatments compared with the pH of the bioreactor feed

### ۲-۳- تغییرات نیترات

دبی تزریق هر یک از بیورآکتورها با استفاده از حجم مؤثر هر ستون و زمان نگهداشت محاسبه شد و سپس با استفاده از شیر وردی تعبیه شده در وردی به هر بیورآکتور میزان آن تنظیم شد. به طوری که دبی متناظر با زمان‌های نگهداشت ۱۲، ۱۸ و ۲۴ hr به ترتیب در تیمار W، ۰/۰۹۰، ۰/۰۶۰ و ۰/۰۴۵ ml/s، در تیمار WS، ۰/۰۷۹، ۰/۰۵۳ و ۰/۰۳۸ ml/s و در تیمار WSS، ۰/۰۷۶، ۰/۰۵۱ و ۰/۰۳۹ ml/s و در تیمار WSSS، ۰/۰۷۴، ۰/۰۴۹ و ۰/۰۳۶ ml/s اعمال شد. جدول (۳) میزان تغییرات نیترات ( $\text{NO}_3^-$ ) در ورودی و خروجی هر یک از تیمارها در زمان‌های نگهداشت مختلف نشان می‌دهد. میزان نیترات در TW نیز در جدول (۳) نشان داده شده است.

که،  $C_{inf}$  میانگین غلظت در جریان ورودی به سامانه و  $C_{eff}$  میانگین غلظت در جریان خروجی از سامانه است.

### ۳- یافته‌ها و بحث

#### ۳-۱- تغییرات pH

شکل (۳) میانگین pH تیمارهای مختلف را در مقایسه با میانگین pH خوراک بیورآکتور نمایش می‌دهد. تغییرات pH در جریان خروجی در تیمار W در مقایسه با pH خوراک بیورآکتور حدود ۳/۷۸٪ کاهش نشان داد. کاهش pH را می‌توان به وجود فولویک اسیدهای موجود در تراشه چوب و آبشویی آن به وسیله جریان عبوری نسبت داد (Garzón-Zúñiga et al. 2005). در تیمار WS، میزان pH نسبت به pH خوراک بیورآکتور حدوداً ۱/۶۴٪ افزایش نشان داد. این رفتار را می‌توان به دلیل خاصیت قلیایی ماسه‌های استفاده شده در تیمار WS و تقابل آن با فولویک اسیدهای ناشی از تراشه‌های چوب دانست (Garzón-Zúñiga & Buelna 2011). در تیمار WSS، میزان pH با روند افزایشی روبه‌رو بود که در مقایسه با pH جریان ورودی حدوداً ۱/۶٪ افزایش نشان داد. افزایش pH در این تیمار به دلیل وجود کلسیم کربنات موجود در پوسته صدف است (Liu et al. 2009). در تیمار WSSS، میانگین pH تیمار نسبت به pH خوراک بیورآکتور به میزان کم و حدوداً ۱/۲۶٪ افزایش نشان داد. علت این امر این است که با گذشت زمان و شسته شدن فولویک اسید موجود در تراشه‌های چوب، تأثیر قلیائیت مواد اصلاحی نسبت به اسید فولویک چوب بیشتر شده است، لذا pH افزایش پیدا کرده است. این نتایج با یافته‌های Sosa-Hernández et al. (2016) در استفاده از تراشه‌های چوب به عنوان مواد فیلتری آلی مطابقت خوبی نشان داد.

دامنه pH مورد قبول برای تشکیل مناسب بیوفیلم به وسیله باکتری‌های بی‌هوازی اختیاری ۸/۵-۶/۵ می‌باشد. در این آزمایش حداقل و حداکثر pH در بین تیمارهای آزمایشی در همه زمان‌های نگهداشت به ترتیب ۷/۵ و ۸/۱۵ اندازه‌گیری شد. لذا این مقادیر در دامنه مناسب برای تشکیل بیوفیلم قرار داشت. به منظور اطمینان از فعالیت آنزیمی باکتری‌های بی‌هوازی اختیاری و باکتری‌های نیترات زدایی مقدار pH بالاتر

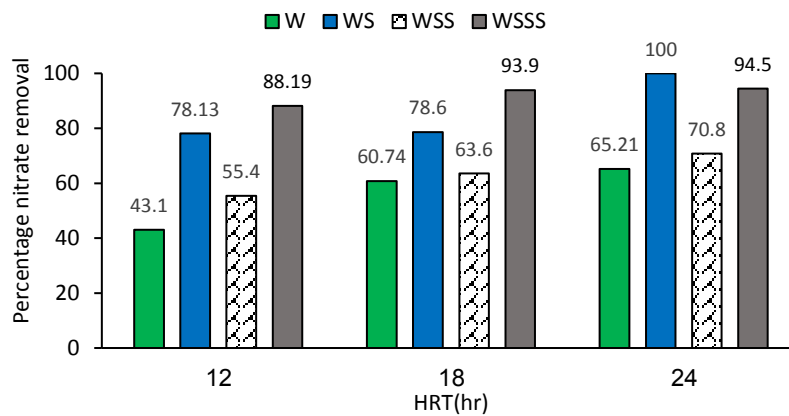
خروجی کاهش یافت و کارایی حذف نیترات به طور چشم-گیری افزایش یافت. دلیل این امر را می توان به افزایش زمان تماس میکروارگانسیم ها با جریان عبوری نسبت داد. در تیمار WS میزان نیترات از  $1/76 \text{ mg/l}$  در  $\text{HRT} = 12 \text{ hr}$  به  $1/72$  و  $0 \text{ mg/l}$  در  $\text{HRT}$  های ۱۸ و ۲۴ تغییر یافت. کارایی حذف نیترات مطابق با شکل (۴) در این تیمار در سه  $\text{HRT}$  برابر با ۱۲، ۱۸ و ۲۴ hr به ترتیب مقادیر  $78/13$ ،  $78/60$  و  $88/100$  را به خود اختصاص داد. در تیمار WSS میزان نیترات از  $2/35 \text{ mg/l}$  در  $\text{HRT}$  های ۱۲ و ۲۴ hr رسید. کارایی حذف نیترات در سه  $\text{HRT}$  برابر با ۱۲، ۱۸ و ۲۴ hr به ترتیب  $60/74$ ،  $63/60$  و  $70/80$  به دست آمد.

جدول ۳- تغییرات غلظت نیترات در جریان خروجی تیمارهای مختلف ( $\text{mg/l}$ )

Table 3 Changes in nitrate concentration in the outlet flow of different treatments ( $\text{mg/l}$ )

Treatment	Hydraulic Retention Time (hr)		
	12	18	24
W	4.58	3.16	2.8
WS	1.76	1.722	0
WSS	3.59	2.93	2.35
WSSS	0.95	0.485	0.44
TW	8.15	8.05	7.95

در تیمار W میزان نیترات از  $4/58 \text{ mg/l}$  در  $\text{HRT} = 12 \text{ hr}$  به  $3/16$  و  $2/8 \text{ mg/l}$  در  $\text{HRT} = 18$  و ۲۴ hr تغییر پیدا نمود. کارایی حذف نیترات در این تیمار در سه  $\text{HRT}$  برابر با ۱۲، ۱۸ و ۲۴ hr به ترتیب برابر با  $60/74$ ،  $63/60$  و  $70/80$  محاسبه شد. با افزایش  $\text{HRT}$  میزان غلظت نیترات در پساب



شکل ۴ - کارایی حذف نیترات تیمارهای آزمایش در  $\text{HRT}$  های متفاوت

Fig. 4 Nitrate removal efficiency of treatments at different HRTs

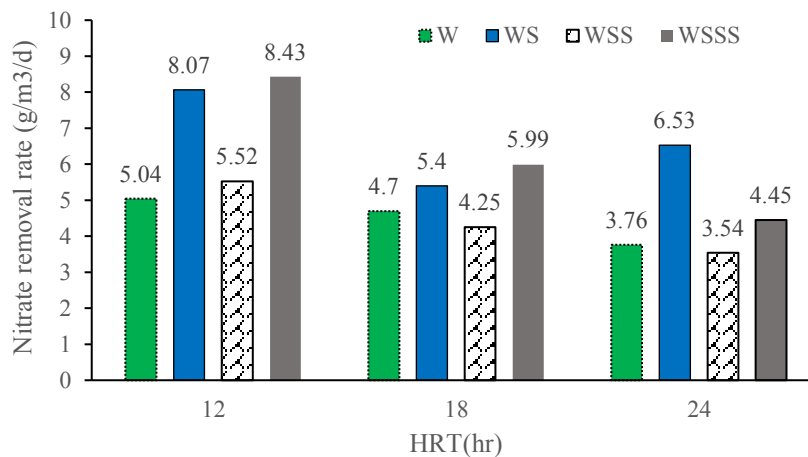
شد. به طور میانگین در هر سه  $\text{HRT}$ ، بیشترین کارایی حذف نیترات در تیمار WSSS رخ داد و بیانگر تأثیر ترکیب ماسه ساحلی و پوسته صدف دریایی در کاهش آلاینده های زیستی به خصوص نیترات بود. مدت زمان تماس میکروارگانسیم ها با نمونه پساب ورودی، میزان غلظت در نمونه ورودی، مدت زمان نمونه برداری و میزان تصفیه اولیه پساب از جمله عوامل تأثیرگذار در میزان کارایی و شدت حذف نیترات به شمار می-رود (Li et al. 2017; Schipper et al. 2010).

Hua et al. (2016) بیورآکتورهای پر شده با تراشه های چوب و جریان پساب با غلظت  $20 \text{ mg N/l}$  تحت  $6-24 \text{ hr}$   $\text{HRT}$  = را مورد ارزیابی قرار دادند، آنان میانگین حذف نیترات را بین  $53/5$  تا  $100$ ٪ گزارش نمودند. همچنین (Li et al. 2017)

تیمار WSSS میزان نیترات از  $0/95 \text{ mg/l}$  در  $\text{HRT} = 12 \text{ hr}$  =  $0/48$  و  $0/45 \text{ mg/l}$  در  $\text{HRT}$  های ۱۸ و ۲۴ hr تغییر پیدا نمود. در هر سه  $\text{HRT}$  برابر با ۱۲، ۱۸ و ۲۴ hr به ترتیب مقادیر کارایی حذف برابر با  $88/19$ ،  $93/9$  و  $94/5$ ٪ حاصل گردید. تیمار WS، WSS و WSSS نیز همانند تیمار W با افزایش  $\text{HRT}$  میزان کارایی حذف نیترات بالاتری را از خود نشان دادند. با مقایسه تیمارهای آزمایش می توان به این نتیجه رسید که مواد اصلاحی اضافه شده به تراشه چوب تأثیر مثبتی در بالارفتن کارایی حذف نیترات داشته است، به طوری که میانگین کارایی حذف از  $56/35$ ٪ در تیمار W، به ترتیب به  $85/57$ ،  $63/26$  و  $92/19$ ٪ در تیمارهای WS، WSS و WSSS ارتقا یافت. بیشترین و کمترین کارایی حذف نیترات  $100$  و  $43/10$ ٪، به ترتیب در تیمار WS24 و W12 حاصل

در پژوهش حاضر، باتوجه به مقادیر بالاتر HRTها نسبت به زمان‌های در نظر گرفته شده در مطالعه‌های (Li et al. (2018) و (Goodwin et al. (2015)، میزان آهنگ حذف نیترات مقادیر کمتری را نسبت به مقادیر آهنگ حذف نیترات به دست آمده توسط این پژوهش‌گران، نشان داد. مطالعه‌های صورت گرفته توسط (Li et al., 2018) در HRT و میانگین نیترات ورودی  $2/8$  hr و  $12$  mg/l بوده است، علاوه بر این در پژوهش‌های انجام شده توسط (Goodwin et al. (2015) میانگین HRT و میانگین نیترات ورودی  $4/9$  hr و  $12$  mg/l در نظر گرفته شده است. براین اساس تفاوت در آهنگ حذف نیترات را می‌توان ناشی از تأثیرپذیری HRTs و غلظت نیترات ورودی متفاوت دانست.

اظهار داشتند بیورآکتور پر شده با تراشه‌های چوب برای نمونه پساب ورودی با غلظت  $12$  mg N/l، میزان نیترات را  $49$  تا  $85\%$  در HRT برابر با  $0/6$  تا  $4$  hr کاهش می‌دهد. این پژوهش‌گران کاهش میزان غلظت نیترات در نمونه خروجی را ناشی از افزایش مدت زمان تماس میکروارگانیسم‌ها با نمونه پساب ورودی دانستند. همچنین (Goodwin et al. (2015) کارایی  $88/8\%$  را برای غلظت  $12$  mg N و ورودی با  $4/9$  hr  $HRT =$  گزارش کردند. مطابق با شکل (۵) میزان آهنگ حذف نیترات در محدوده  $3/54$  تا  $8/43$  g N/m<sup>3</sup>/d قرار گرفت. مقادیر حاصل شده در این مطالعه با مقادیر مطالعات Li et al. (2018) و (Goodwin et al. (2015) تفاوت داشت. Li et al. (2018) اذعان داشتند که آهنگ حذف نیترات به HRT بستگی داشته و با افزایش HRT، میزان آن کاهش می‌یابد.



شکل ۵- آهنگ حذف نیترات تیمارهای آزمایش در HRTs مختلف

Fig. 5 Nitrate removal rate of treatments at different HRTs

جدول ۴- تغییرات غلظت ارتوفسفات در جریان ورودی و خروجی کلیه تیمارها برحسب mg/l

Table 4 Changes in orthophosphate concentration in different treatments (mg/l)

Treatment	Hydraulic Retention Time (hr)		
	12	18	24
W	2.8	1.98	4.8
WS	3.45	1.87	2.05
WSS	1.3	0.35	1.92
WSSS	0.19	0.268	0.37
TW	8.2	8	8.06

مطابق با شکل (۶) کارایی حذف ارتوفسفات در تیمار W در سه HRT برابر با  $12$ ،  $18$  و  $24$  به ترتیب برابر با  $65/3$ ،  $75/49$ ،

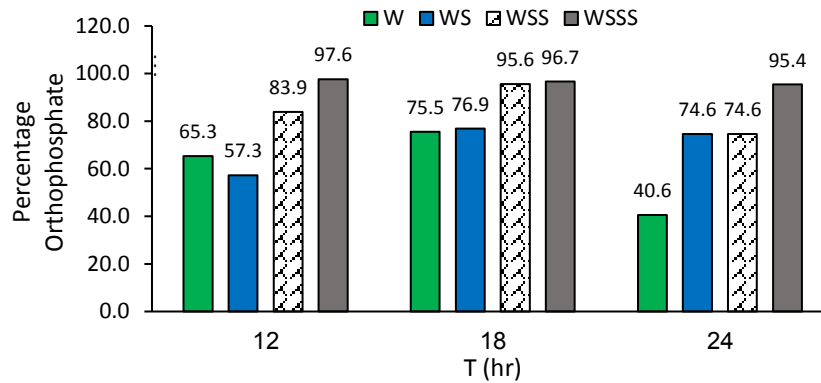
بیشترین و کمترین آهنگ حذف نیترات  $8/43$  و  $3/54$  g /m<sup>3</sup>/d به ترتیب در تیمارهای WSSS12 و WSS24 رخ داد. تغییرات میزان نیترات در این آزمایش با مطالعه‌های Hoover et al. (2016) و (Lepine et al. (2016) مطابقت داشت.

### ۳-۳- تغییرات ارتوفسفات

جدول (۴) تغییرات ارتوفسفات را در ورودی و خروجی هر یک از تیمارها در HRTهای مختلف نمایش می‌دهد. میزان کل ارتوفسفات در پساب ورودی به طور میانگین  $8/08$  mg/l اندازه‌گیری شد.

دلیل افزایش کلسیم کربنات ناشی از پوسته صدف موجود در این تیمار است. در تیمار WSSS کارایی حذف ارتوفسفات در HRT برابر با ۱۲، ۱۸ و ۲۴ hr به ترتیب برابر با ۹۷/۶۸، ۹۶/۶۸ و ۹۵/۴٪ محاسبه شد. بیشترین و کمترین کارایی حذف ارتوفسفات توسط تیمارهایی WSSS12 و W24 به ترتیب به میزان ۹۷/۶۴ و ۴۰/۵۹٪ حاصل شد.

۴۰،۵۶٪ حاصل شد. کارایی حذف ارتوفسفات در تیمار WS در سه HRT برابر با ۱۲، ۱۸ و ۲۴ hr به ترتیب ۷۶/۸۵، ۷۴/۶۲ و ۷۴/۶۲٪ محاسبه شد. در تیمار WSS کارایی حذف ارتوفسفات در سه HRT برابر با ۱۲، ۱۸ و ۲۴ hr به ترتیب به صورت ۸۳/۹۱، ۹۵/۶ و ۷۴/۶٪ به دست آمد. باتوجه به تأثیرات کلسیم کربنات در حذف فسفات؛ به نظر می رسد بالارفتن کارایی حذف فسفات در مقایسه با تیمار W عمدتاً به



شکل ۶- کارایی حذف ارتوفسفات تیمارهای آزمایش در HRTs متفاوت

Fig. 6 Orthophosphate removal efficiency in experimental treatments under different HRTs

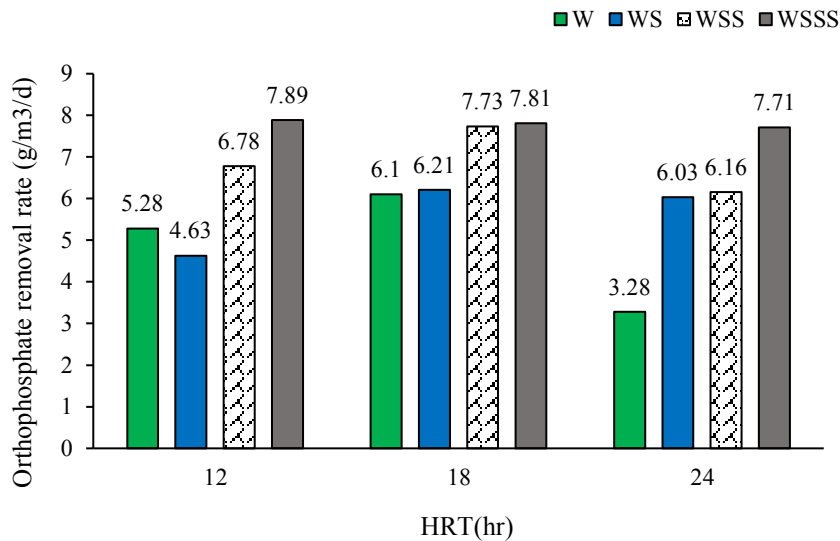
بوده، بر روی سطح این ذرات رسوب می نماید. کارایی رسوب و تثبیت فسفر در سازوکار اول بستگی به فعالیت یون کلسیم در فاز محلول و در سازوکار دوم به میزان کلسیم کربنات و اندازه ذرات آن دارد. فعالیت بیش تر یون کلسیم در فاز محلول، مقدار بیش تر کلسیم کربنات و ریزتر بودن ذرات آن منجر به افزایش تثبیت فسفر می گردد (Salardin 1984). از آنجایی که حذف ارتوفسفات در این مطالعه بیش تر بر اثر رسوب کلسیم کربنات رخ داده است، لذا افزایش کارایی حذف ارتوفسفات در تیمارهای WSS و WSSS را می توان ناشی از وجود کلسیم کربنات موجود در ساختار ماسه ساحلی و پوسته صدف و تأثیر پارامترهای نظیر غلظت اولیه ارتوفسفات، pH محلول، HRT، میزان یون کلسیم و اندازه ذرات دانست.

با توجه به شکل (۷) بیشترین و کمترین آهنگ حذف ارتوفسفات ۷/۸۹ و ۲۸/۳ g/m<sup>3</sup>/d به ترتیب در تیمار WSSS12 و W24 حاصل شد. مقایسه تیمارها دلالت بر تأثیر مثبت مواد اصلاحی اضافه شده به تراشه چوب در افزایش کارایی و آهنگ حذف ارتوفسفات دارد. بیشترین کارایی و آهنگ حذف ارتوفسفات در تیمار WSSS به میزان ۹۷/۶٪ و ۷/۸۹ g/m<sup>3</sup>/d در HRT= ۱۲ hr رخ داد که بیانگر تأثیر

Xiong et al. (2011) حذف فسفات از محلول را با استفاده از پوسته های پودر شده صدف بررسی کردند. یافته های این پژوهش نشان داد میزان حذف فسفات در محیط های آبی تابعی از HRT، pH و غلظت جاذب است. آنان ظرفیت جذب اشباع فسفات توسط پوسته های صدف طبیعی ۶/۹۵ mg/g تخمین زدند. Schipper et al. (2010) و Li et al. (2017) کاهش میزان غلظت ارتوفسفات در خروجی بیورآکتور را به افزایش مدت زمان تماس میکروارگانیسم ها با پساب و میزان غلظت ارتوفسفات در نمونه ورودی ارتباط دادند.

یون کلسیم به دو صورت بر میزان تثبیت فسفات و حذف از محلول های آبی اثرگذار است. سازوکار اول بدین صورت عمل می نماید که هر چه اسیدیته محیط آبی به سمت قلیایی شدن میل نماید، نوع یون های غالب فسفات به تدریج از دی هیدروژن فسفات (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>) به هیدروژن فسفات (HPO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) و در نهایت به فسفات (PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>) تبدیل و حلالیت کلسیم فسفات نیز کاهش می یابد. با افزایش اسیدیته تمایل فسفات برای تبدیل فسفات های نسبتاً غیر محلول افزایش یافته و یون کلسیم باعث تشکیل کلسیم هیدروژن فسفات و یا دیگر فسفات های قلیایی نظیر هیدروکسی می شود. در سازوکار دوم، یون فسفر محلول که در تماس با کلسیم سطحی کلسیم کربنات موجود در فاز جامد

ترکیب ماسه ساحلی و پوسته صدف دریایی در کاهش آلاینده‌ها است.



شکل ۷ - آهنگ حذف ارتوفسفات تیمارهای آزمایش در HRTs متفاوت

Fig. 7 Orthophosphate removal rate of experimental treatments at different HRTs

پیشنهاد می‌شود برای بررسی مؤثرتر کارایی سامانه، آزمایش بر روی پساب فاضلاب کشاورزی و صنعتی و شهری و با غلظت‌های بالاتر نیترات و ارتوفسفات نیز صورت پذیرد. ضمن اینکه برای بی‌بردن کارایی این‌گونه سامانه‌ها در شرایط واقعی، در مقیاس پایلوت و در یک دوره زمانی طولانی‌مدت نیز کاربرد این‌گونه سامانه‌های تصفیه مورد ارزیابی و سنجش قرار گیرد.

#### سپاسگزاری

بدین‌وسیله از مرکز آزمایشگاه محیط‌زیست بندرعباس که نهایت همکاری را در این پژوهش به عمل آوردند، تشکر و قدردانی می‌شود.

#### دسترسی به داده‌ها

داده‌های به‌دست‌آمده در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

#### تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

#### ۴- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر کارایی سامانه‌های تصفیه پساب فاضلاب حاصل از یک مجتمع خوابگاهی را با استفاده از مواد فیلتری طبیعی تراشه چوب، ماسه ساحلی و صدف دریایی و تحت شرایط آزمایشگاهی را ارزیابی و به نتایج زیر دست‌یافت:

۱- استفاده از تراشه‌های چوب و ترکیب آن با مواد اصلاحی به‌منظور حذف نیترات و ارتوفسفات در HRTهای مختلف بر عملکرد و حذف آلاینده‌ها در محیط‌های اشباع بسیار کارا است.

۲- بالاترین کارایی حذف نیترات و ارتوفسفات در تیمار WSSS، ترکیبی از تراشه چوب درخت کهور، پوسته صدف خرد شده و ماسه‌های ساحلی، حاصل شد.

۳- از بین HRTها نیز  $HRT = 18 \text{ hr}$  نتایج بهتری را برای حذف نیترات و ارتوفسفات نشان داد.

۴- دامنه تغییرات pH در خروجی تیمارها به‌منظور حذف نیترات و ارتوفسفات در محدوده مناسبی قرار داشت و با افزایش pH میزان کارایی حذف نیترات و ارتوفسفات افزایش یافت.

## References

- Buelna, G., & Bélanger, G. (1990). Biofiltration a base de tourbe pour le traitement des eaux usées des petites municipalités. *J. Sci. Tech. Eau*, 23(3), 259–264.
- Chun, J. A., Cooke, R. A., Eheart, J. W., & Cho, J. (2010). Estimation of flow and transport parameters for woodchip-based bioreactors: II. field-scale bioreactor. *J. Biosyst. Eng.*, 105(1), 95–102. DOI: [10.2166/wst.2011.425](https://doi.org/10.2166/wst.2011.425)
- Garzón-Zúñiga, M. A., & Buelna, G. (2011). Treatment of wastewater from a school in a decentralized filtration system by percolation over organic packing media. *J. Water Sc. Technol.*, 64(5), 1169–1177. DOI: [10.2166/wst.2011.425](https://doi.org/10.2166/wst.2011.425)
- Garzón-Zúñiga, M., Lessard, P., Aubry, G., & Buelna, G. (2005). Nitrogen elimination mechanisms in an organic media aerated biofilter treating pig manure. *J. Environ. Technol.*, 26(4), 361–372. DOI: [10.1080/09593332608618552](https://doi.org/10.1080/09593332608618552)
- Gerardi, M. H. (2003). *Nitrification and denitrification in the activated sludge process*. John Wiley & Sons.
- Goodwin, G. E., Bhattarai, R., & Cooke, R. (2015). Synergism in nitrate and orthophosphate removal in subsurface bioreactors. *J. Ecol. Eng.*, 84, 559–568. DOI: [10.1016/j.ecoleng.2015.09.051](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.09.051)
- Hassani, A. H., Javid, A. H., Torabian, A., Hosseini, S. M., & Hayatbakhsh, A. (2009). Performance of aeration systems (activated sludge) with fixed bed for the treatment of wastewater with high organic load. *J. Environ. Sci. Technol.*, 11(4), 1–10. [In Persian].
- Hiscock, K. M., Lloyd, J. W., & Lerner, D. N. (1991). Review of natural and artificial denitrification of groundwater. *W. Res.*, 25(9), 1099–1111. DOI: [10.1016/0043-1354\(91\)90203-3](https://doi.org/10.1016/0043-1354(91)90203-3)
- Hoather, R. C., & Rackham, R. F. (1959). Oxidised nitrogen in waters and sewage effluents observed by ultra-violet spectrophotometry, 84(1002). *J. Anal.*, 548–551. DOI: [10.1039/AN9598400548](https://doi.org/10.1039/AN9598400548)
- Hoover, N. L., Bhandari, A., Soupir, M. L., & Moorman, T. B. (2016). Woodchip denitrification bioreactors: Impact of temperature and hydraulic retention time on nitrate removal. *J. Environ. Qual.*, 45(3), 803–812. DOI: [10.2134/jeq2015.03.0161](https://doi.org/10.2134/jeq2015.03.0161)
- Hua, G., Salo, M. W., Schmit, C. G., & Hay, C. H. (2016). Nitrate and phosphate removal from agricultural subsurface drainage using laboratory woodchip bioreactors and recycled steel byproduct filters. *Water Res.*, 102, 180–189. DOI: [10.1016/j.watres.2016.06.022](https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.06.022)
- Kaetzl, K., Lübken, M., Gehring, T., & Wichern, M. (2018). Efficient low-cost anaerobic treatment of wastewater using biochar and woodchip filters. *J. Water*, 10(7). DOI: [10.3390/w10070818](https://doi.org/10.3390/w10070818)
- Lepine, C., Christianson, L., Sharrer, K., & Summerfelt, S. (2016). Optimizing hydraulic retention times in denitrifying woodchip bioreactors treating recirculating aquaculture system wastewater. *J. Environ. Qual.*, 45(3), 813–821. DOI: [10.2134/jeq2015.05.0242](https://doi.org/10.2134/jeq2015.05.0242)
- Li, S., Cooke, R. A., Huang, X., Christianson, L., & Bhattarai, R. (2018). Evaluation of fly ash pellets for phosphorus removal in a laboratory scale denitrifying bioreactor. *J. Environ. Manage.*, 207, 269–275. DOI: [10.1016/j.jenvman.2017.11.040](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.040)
- Li, S., Cooke, R. A., Wang, L., Ma, F., & Bhattarai, R. (2017). Characterization of fly ash ceramic pellet for phosphorus removal. *J. Environ. Manage.*, 189, 67–74. DOI: [10.1016/j.jenvman.2016.12.042](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.042)
- Liu, Y., Sun, C., Xu, J., & Li, Y. (2009). The use of raw and acid-pretreated bivalve mollusk shells to remove metals from aqueous solutions. *J. Hazard. Mater.*, 168(1), 156–162. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2009.02.009](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.02.009)
- Özacar, M., & Şengil, İ. A. (2003). Enhancing phosphate removal from wastewater by using polyelectrolytes and clay injection. *J. Hazard. Mater.*, 100(1), 131–146. DOI: [10.1016/S0304-3894\(03\)00070-0](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(03)00070-0)
- Paserh, F., Borghei, S. M., hosseini, seyed nezameddin, & Javid, A. (2017). Effective removal of phosphorus from sewage using a modified biological method. *J. Environ. Sci. Technol.*, 19(4), 1–13. DOI: [10.22034/JEST.2017.11621](https://doi.org/10.22034/JEST.2017.11621) [In Persian].

- Sedlak, R. (1991). *Phosphorus and Nitrogen Removal from Municipal Wastewater: Principles and Practice, Second Edition* (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.1201/9780203743546>.
- Salardini, A. A. (1984). *Soil fertility*. University of Tehran Press (UTP), 434 pp. [In Persian].
- Schipper, L. A., Cameron, S. C., & Warneke, S. (2010). Nitrate removal from three different effluents using large-scale denitrification beds. *J. Ecol. Eng.*, 36(11), 1552–1557. DOI: [10.1016/j.ecoleng.2010.02.007](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.02.007)
- 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. *J. Water Sci. Technol.*, 73(6), 1454–1462. DOI: [10.2166/wst.2015.595](https://doi.org/10.2166/wst.2015.595)
- Tejedor, J., Córdor, V., Almeida-Naranjo, C. E., Guerrero, V. H., & Villamar, C. A. (2020). Performance of wood chips/peanut shells biofilters used to remove organic matter from domestic wastewater. *J. Sci. Total Environ.*, 738, 139589. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.139589](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139589)
- Von Ahnen, M., Pedersen, P. B., Dalsgaard. (2018). Nitrate removal from aquaculture effluents using woodchip bioreactors improved by adding sulfur granules and crushed seashells. *J. Water Sci. Technol.*, 77(9), 2301–2310. DOI: [10.2166/wst.2018.148](https://doi.org/10.2166/wst.2018.148)