

## حذف موثر فسفر از فاضلاب با استفاده از روش بیولوژیکی باردنفو اصلاح شده

فیض الله پاسره<sup>۱</sup>

سید مهدی برقی<sup>۲</sup>

سید نظام الدین حسینی<sup>۳\*</sup>

[seyyednezam@yahoo.com](mailto:seyyednezam@yahoo.com)

امیر حسین جاوید<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۹۵/۷/۲۳

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۲۰

### چکیده

**زمینه و هدف:** مدیریت صحیح فاضلاب یکی از مهم ترین مسایل محیط زیستی می باشد، مواد آلی و نوترینت ها از جمله ترکیبات فسفر از آلاینده های بالقوه آب های پذیرنده می باشند. انتشار فسفر از پساب تصفیه خانه فاضلاب شهری به محیط زیست یکی از دلایل اصلی پدیده شکوفایی آب است. بنا براین هدف از این مطالعه تعیین میزان نوترینت ها و مواد آلی فاضلاب شهر یاسوج و میزان حذف بهینه نوترینت ها از جمله فسفر کل توسط سیستم باردنفو اصلاح شده پرداخته است.

**روش بررسی:** مطالعه حاضر از نوع توصیفی- مقطعی بوده، روش نمونه برداری به صورت نمونه برداری مرکب (Composite Sampling) و جامعه مورد مطالعه نمونه های اخذ شده از ورودی سیستم تصفیه (بعد از سیستم آشغال گیر) و خروجی سیستم تصفیه (بعد از ته نشینی) می باشد. جهت شناسایی عوامل تاثیرگذار بر حذف فسفر از پایلوت باردنفو اصلاح شده استفاده شد مقدار حذف نیترات، فسفات کل، COD و BOD<sub>5</sub> به مدت ۹ ماه مورد ارزیابی قرار گرفت. در پایان داده های جمع آوری شده با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند.

**یافته ها:** با توجه به نتایج بدست آمده، میانگین COD ورودی در سیستم (۶۷۴/۵۵±۲۲۸/۵۴)، فسفر ورودی (۲۱/۲۶±۴/۸)، نیترات ورودی (۲۵/۹۱±۱۹/۶۳)، BOD ورودی (۳۷۸/۳۳±۱۰۶/۶۶) میلی گرم در لیتر و مقدار pH ورودی (۷/۲۲±۰/۳۵) بود. بین میزان COD ورودی و درصد حذف فسفر ارتباط معنا داری وجود دارد (P.value=۰/۰۰۴) ولی بین pH ورودی و درصد حذف فسفر ارتباط

۱- دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۲- استاد، دانشکده مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.

۳- دانشیار مجتمع تولیدی تحقیقاتی انستیتو پاستور ایران، تهران، ایران<sup>\*</sup>(مسئول مکاتبات).

۴- دانشیار دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

معناداری وجود ندارد (  $P.value=0/339$  ). بیشترین حذف فسفر در زمان توقف سلولی ۱۵ روزه (۶۹/۷۲٪) مشاهده شد. بازگشت داخلی ۲۰٪ نیز (۶۸/۹۶٪) بیشترین درصد حذف فسفر را نشان داد.

**نتیجه گیری:** طبق اطلاعات بدست آمده، شرایط بهینه برای حذف فسفر،  $SRT=15$ ،  $HRT=1-0/5$  در تانک بی هوازی، درصد بازچرخش داخلی ۲۰٪، درصد لجن برگشتی ۷۵٪ و حفظ  $DO=2-3$  نشان داده شد. بنابراین با توجه اطلاعات بدست آمده، برای زدایش فسفر علاوه بر روش های فیزیکی و شیمیایی می توان از فرآیندهای زیستی اصلاح شده استفاده کرد. در این سامانه ها با قرار دادن یک مرحله بی هوازی در ابتدای فرآیند، حذف فسفر بهبود می یابد. و این روش می تواند جایگزین مناسبی برای تصفیه خانه هایی که با سیستم لجن فعال کار می کنند باشد.

**کلمات کلیدی:** فسفر، باردنفو اصلاح شده، فاضلاب، حذف بیولوژیکی.

## **Effective removal of phosphorus from sewage using a modified biological method**

**Feyzollah Paserh<sup>1</sup>**

**S. Mahdi Borghei<sup>2</sup>**

**Seyed Nezamedin Hosseini<sup>3\*</sup>**

[seyyednezam@yahoo.com](mailto:seyyednezam@yahoo.com)

**Amirhossein Javid<sup>4</sup>**

Admission Date: March 10, 2017

Date Received: October 14, 2016

### **Abstract**

**Background and Objective:** Proper management of sewage is one of the most important environmental issues, organic matter and nutrients, including phosphorus compounds, are the potential pollutants of the receiving waters. Release of phosphorus from municipal wastewater treatment plant effluent to the environment is one of the main reasons for the phenomenon of the Eutrophication. Therefore, the aim of this study was to determine the amount of nutrients and organic matter in wastewater of Yasouj city and efficient removal of nutrients such as total phosphorus by modified Bardenpho system.

**Method:** This is a cross-sectional study. The sampling method as Composite Sampling and study population was samples of treatment system input (after screening system) and output of treatment system (after sedimentation). In order to identify of affecting factors on phosphorus removal use of modified Bardenpho pilot. The amount of nitrate, total phosphate, COD and BOD<sub>5</sub> removal for 9 months was evaluated. The collected data were analyzed by using SPSS software (version 16).

**Findings:** According to the results, the average of input COD in system ( $674.55 \pm 228.54$ ), input phosphorous ( $21.26 \pm 4.8$ ), input nitrate ( $25.91 \pm 19.63$ ), input BOD ( $378/33 \pm 106/66$ ) mg per liter and the input pH ( $7.22 \pm 0.35$ ). There is a significant Relationship between the input COD and percentage of phosphorus removal (P.value=0/004), but there is not significant relationship between the pH input and phosphorus removal percentage (P.value=0.339). Most phosphorus removal was observed in Solids Retention Time (SRT) of 15 days (69.72%). Internal recycle of 200 percent (68/96%) showed the highest percentage of phosphorous removal.

**Discussion and Conclusion:** According to obtained information, the optimum conditions for phosphorus removal showed SRT =15, HRT =0/5-1 in anaerobic tank, the internal recycle percentage of 200%, recycled activated sludge (75%) and keep the DO =2-3. Therefore, for removal of phosphorus addition of physical and chemical methods can use of modified biological processes. In this systems, by replacing of an anaerobic stage at the beginning of the process, improve phosphorus removal. This method can be a good alternative to treatment plants with activated sludge system.

**Key words:** phosphorus, modified Bardenpho, sewage, biological Remove.

---

1- Ph.D. Of Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2- Full Professor, Department of Chemical and Petroleum Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran.

3- Associate Professor of Research Institute of Pasteur Institute of Iran, Tehran, Iran\*(Corresponding Authors).

4- Associate Professor of Science and Research, Faculty of Environment and Energy, Tehran, Iran.

## مقدمه

توسعه شهر نشینی موجب افزایش فعالیت های صنعتی و کشاورزی، تخلیه فاضلاب ها و پساب های مختلف به منابع پذیرنده آب های سطحی شده که منجر به کاهش کیفیت آب ها می شود (۱). فاضلاب، همان آب مصرفی است که در نتیجه کاربردهای مختلف، آلوده شده و قابل استفاده برای مصرف مورد نظر نمی باشد. از نظر منابع تولید، فاضلاب شهری را می توان ترکیبی از زایداتی دانست که توسط آب از مناطق مسکونی، اداری و تاسیسات تجاری و صنعتی درون شهری، حمل شده و بر حسب شرایط ممکن است با آب های زیرزمینی، آب های سطحی یا سیلاب ها آمیخته گردد (۲). هر متر مکعب فاضلاب تصفیه نشده ۴۰ تا ۶۰ متر مکعب آب تمیز آشامیدنی را آلوده می کند (۳ و ۴). برای کاهش اثرات سوء ناشی از تخلیه فاضلاب ها به محیط زیست و همچنین جهت ارتقاء سطح بهداشت عمومی در جوامع، بایستی نسبت به تصفیه فاضلاب اقدام نمود (۵). به منظور تصفیه فاضلاب از فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی استفاده می گردد (۳). امروزه روش های مشتمل بر فرایندهای بیولوژیکی به طور گسترده ای در تصفیه انواع فاضلاب های مختلف با بار آلی زیاد مورد استفاده قرار می گیرد (۶-۸). مواد آلی و نوترینت ها از جمله ترکیبات فسفر از آلاینده های بالقوه آب های پذیرنده می باشند، (۹ و ۱۰). انتشار فسفر از پساب تصفیه خانه فاضلاب شهری به محیط زیست یکی از دلایل اصلی پدیده شکوفایی آب است. فسفر فاضلاب شهری در اشکال مختلف از قبیل فسفر کل، فسفر محلول و فسفر معلق وجود دارد. به طور کلی تصفیه اولیه و ثانویه فاضلاب در حذف فسفر موثر است. فسفر در پساب ثانویه عمدتاً به شکل محلول و تحت عنوان ارتو فسفات شناخته می شود، به علاوه تنها ارتو فسفات است که باعث رشد فیتوپلانکتون ها و در نتیجه ایجاد شکوفایی در منابع آب سطحی می شود. تصفیه پساب فاضلاب شهری به منظور حذف ارتو فسفات به منظور پاسخ به مقررات محیط زیستی در سراسر جهان الزامی است (۱۱). کنترل رشد جلبک ها در منابع آب از طریق حذف فسفر از فاضلاب شهری عامل مهمی جهت حفظ کیفیت منبع محدود آب های شیرین موجود می باشد (۱۲).

حذف ترکیبات فسفر به صورت فیزیکی، شیمیایی و زیستی امکان پذیر است. روش تصفیه زیستی یک دانش توسعه یافته و سازگار با محیط زیست است که با تغییر طراحی سیستم های رشد معلق صورت می پذیرد (۱۳). در سال های اخیر، فرایندهای متعددی برای جداسازی زیستی فسفر از فاضلاب به کار گرفته شده که یکی از این فرایندها باردنفو اصلاح شده می باشد (۱۴). غازی عیدان در ۱۳۸۷ با زدایش زیستی فسفر فاضلاب نشان داد با کاهش سن لجن، افزایش DO و کاهش غلظت نیترات درصد زدایش فسفر افزایش می یابد (۱۵). دانگ وی در سال ۲۰۱۴ با بررسی حذف همزمان فسفر و نیتروژن با استفاده از SBR نشان داد حذف همزمان نیتروژن و فسفر با تغییر اکسیژن مورد نیاز شیمیایی نیتروژن (N COD) افزایش می یابد (۱۶). اژدر پور نیز در سال ۲۰۱۴ با سیستم SBR اصلاح شده (بی هوازی / هوازی) نشان داد این راکتور جدید دارای مزایای مختلفی از جمله راندمان بالا در حذف مواد آلی و فسفات، تداوم در جریان ورودی، فضای کم و اشغال حجم است (۱۷). فرایند باردنفو یکی از فرایندهایی است که برای حذف بیولوژیکی فسفر و نیتروژن طراحی شده و فرآیند اصلی یک سیستم چهار مرحله ای (انوکسیک، هواهی، انوکسیک، هواهی) و تک لجنه برای حذف نیتروژن از طریق نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون است. با هدف حذف فسفر فرایند باردنفو با اضافه کردن یک مرحله بی هوازی در ابتدای سیستم اصلاح شد. چنین اصلاحی یک شرایط تماس بی هوازی ضروری برای جذب فسفر بوجود می آورد. آمارا در سال ۲۰۱۴ در مطالعه ای با عنوان جنبه های بیولوژیکی تصفیه خانه فاضلاب در مصر و باردنفو اصلاح شده نشان دادند حذف نیترات و فسفات با کاهش استفاده از مواد شیمیایی است. اضافه کردن یک منطقه بی هوازی و یک منطقه اکسیژن اضافی سبب بهبود عملکرد باردنفو می شود (۱۸). جعفر زاده در سال ۱۳۹۲ با ارزیابی کاربرد فرایند ناپیوسته متناوب با رشد چسبیده بی هوازی-هوازی در حذف ارتو فسفات از فاضلاب تصفیه شده در مرحله ثانویه نشان دادند که با زمان ماند بی هوازی ۴ ساعت، یعنی کم ترین زمان ماند بی هوازی حذف فسفر دارای بازده بالاتری

## روش بررسی

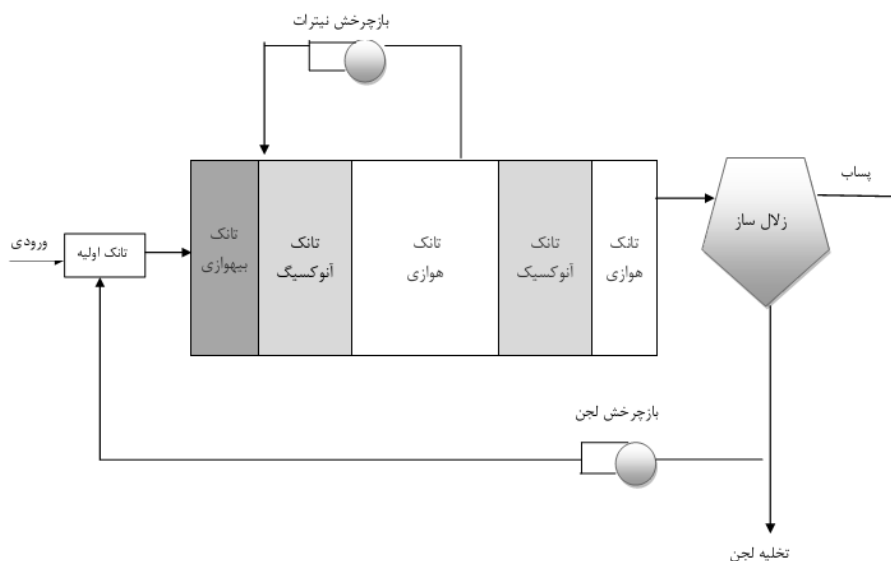
### روش مطالعه

مطالعه حاضر از نوع توصیفی-مقطعی بوده و بهینه سازی حذف فسفر به صورت بیولوژیکی در سیستم باردنفو اصلاح شده را مورد بررسی قرار می دهد. روش نمونه برداری به صورت نمونه برداری مرکب (Composite Sampling) و جامعه مورد مطالعه نمونه های اخذ شده از ورودی سیستم تصفیه (بعد از سیستم آشغال گیر) و خروجی سیستم تصفیه (بعد از ته نشینی) می باشد. حجم نمونه با استفاده از طراحی آزمایش توسط نرم افزار مینی تب در دو مرحله pretest و غربالگری انجام گرفت که در مرحله اول (غربالگری) ۳۳ آزمایش در حالت های مختلف و در مرحله دوم (آزمون سطح) و با حذف پارامترهای بی تاثیر ۹۰ آزمایش طراحی گردید.

### پایلوت مورد استفاده

جهت شناسایی عوامل تاثیرگذار بر حذف فسفر از پایلوت باردنفو اصلاح شده که تانک های آن از جنس پلی اتیلن ساخته شده بود، استفاده شد. جهت جلوگیری از رشد جلبک تانک ها رنگ آمیزی و برای بهبود عملکرد سیستم به آن لجن حاصل از تصفیه خانه اضافه شد. پارامترهای طراحی فرایند در جدول ۲ ارائه شده است که جزء متغیرهای مورد بررسی بوده و در شرایط مختلف زمان ماند برای هر مرحله و زمان ماند جامدات و لجن برگشتی و همچنین درصد بازچرخش داخلی متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. سیستم تصفیه فاضلاب پایلوت مورد استفاده از نوع باردنفو اصلاح شده (۵ مرحله ای) می باشد. فاضلاب ورودی (با دبی ۱۲ لیتر بر ساعت) و لجن برگشتی وارد ناحیه بی هوازی می شوند. تانک بی هوازی در زمان ماندهای مختلف ۱/۵-۰/۵ ساعت مورد مطالعه قرار گرفت. پارامتر بازچرخش داخلی با درصد تغییر ۲۰۰-۴۰۰ و لجن برگشتی ۱۰۰-۵۰ درصد و زمان ماند جامدات با دامنه ۲۰-۱۰ روز مورد بررسی قرار گرفت.

است (۱۹). ساخت تصفیه خانه های تصفیه فاضلاب به تنهایی نگرانی های محیط زیستی را بر طرف نمی کند، بلکه برای رسیدن به استانداردهای مطلوب زیست محیطی باید عملکرد این تصفیه خانه ها مرتباً تحت بررسی و ارزیابی قرار گیرند (۲۰). یکی از مهم ترین معیارهای طراحی، اجرا و بهره برداری از سیستم های تصفیه فاضلاب توجه به استانداردهای محیط زیستی می باشد که خود سهم مهمی در انتخاب نوع فرایند و سایر ملاحظات خواهد داشت (۷). ابراهیمی در سال ۱۳۹۱ با بررسی کارآیی روش های مختلف حذف بیولوژیکی مواد مغذی (BNR) و مقایسه اقتصادی آن ها نشان دادند، جهت حذف هر دوی نیتروژن و فسفر در شرایط یکسان، روش باردنفو و روش اصلاح شده UCT دارای راندمان بهتری نسبت به سایر روش های می باشند (۲۱). مزیت اصلی سیستم باردنفو اصلاح شده نسبت به سایر روش های حذف بیولوژیک مواد مغذی، حذف همزمان فسفر و نیتروژن می باشد و نسبت به روش های شیمیایی هزینه کم تر و راندمان بالاتری دارد. از جمله پارامترهای که برای ارزیابی عملکرد تصفیه خانه های فاضلاب باید مورد توجه قرار گیرد، میزان اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی (BOD)، میزان اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)، موادمعلق، جامدات محلول، مواد مغذی، pH فاضلاب خروجی و TSS از این تصفیه خانه ها است (۲۲). بنابراین مدیریت صحیح فاضلاب یکی از مهم ترین مسایل محیط زیستی می باشد که بدون آگاهی از وضعیت راندمان سیستم تصفیه نمی توان قضاوت درستی از سیستم داشت. تحقیق حاضر به صورت جامع به بررسی میزان نوترینت ها و مواد آلی فاضلاب شهر یاسوج و میزان حذف بهینه نوترینت ها از جمله فسفر کل توسط سیستم باردنفو اصلاح شده پرداخته است.



شکل ۱- اجزا پایلوت به همراه فلودیاگرام جریان

Figure 1. Pilot components with flowdiagram

جدول ۱- پارامترهای عمومی استفاده شده در طراحی باردنفو اصلاح شده<sup>۳\*</sup>

Table 1 . General parameters used in modified Bardenpho design

زمان ماند سلولی (روز)	مواد جامد معلق در مایع مخلوط (میلی گرم در لیتر)	زمان ماند هیدرولیکی (ساعت)			بازچرخش لجن (درصد)	بازچرخش داخلی (درصد)
		بی هوازی	آنوکسیک	هوازی		
۱۰-۲۰	۳۰۰۰-۴۰۰۰	۰/۵-۱/۵	۱ <sup>st</sup> : ۱-۳	۱ <sup>st</sup> : ۴-۱۲	۵۰-۱۰۰	۲۰۰-۴۰۰
			۲ <sup>nd</sup> : ۲-۴	۱ <sup>nd</sup> : ۰/۵-۱		

<sup>۳\*</sup> Metcalf and Eddy

### پارامترها و روش اندازه گیری

مقدار COD فیلتر شده با استفاده از فیلتر ۰/۴۵ میکرومتر، سولفات روی، هیدروکسید سدیم بدست آمده و سپس آن را از مقدار COD ورودی کم کرده و از این طریق مقدار rbCOD محاسبه شد (۲۰). به منظور کاهش خطاهای احتمالی، هر آزمایش سه بار تکرار شد و از آزمون خطای استاندارد میانگین به عنوان آزمون آماری استفاده شد. در پایان داده های جمع آوری شده با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ و آماره های توصیفی و آنالیز مقایسه میانگین (رگرسیون، ANOVA) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نمودارها نیز با کمک نرم افزار Excel ترسیم شدند.

مقدار حذف نیترات، فسفات کل، COD و BOD<sub>5</sub> به مدت ۹ ماه مورد ارزیابی قرار گرفت. در طول مدت پژوهش نمونه در محل ذکر شده برداشت شد. نمونه ها پس از برداشت ظرف مدت نیم ساعت به آزمایشگاه منتقل شده و مورد بررسی قرار گرفت. برای اندازه گیری نیترات و فسفر کل از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل DR5000، کمپانی Hach به ترتیب از طول موج های ۴۳۰، ۲۲۰ استفاده شد. اندازه گیری COD بر اساس روش تعیین شده در کتاب استاندارد متد شماره (۵۲۲۰D) انجام شد. اندازه گیری اکسیژن محلول با استفاده از دستگاه پرتابل مدل DO 300 کمپانی Wagtech و pH با استفاده از دستگاه pH Meter کمپانی Wagtech صورت گرفت. مقدار rbCOD نیز اندازه گیری شد. در این روش ابتدا

## یافته ها

تصفیه‌خانه شهری ۲۶۳ میلی‌گرم در لیتر طراحی شده بود که در اکثر موارد BOD ورودی به تصفیه خانه بالاتر از این مقدار بود و میانگین BOD ورودی  $378/33 \pm 106/66$  میلی‌گرم در لیتر بود. در این مطالعه مقدار  $rbCOD=16/1\%$   $COD_{In}$  اندازه گیری شد. در ادامه بر اساس خصوصیات فاضلاب ورودی، پایلوت با توجه به معیارهای طراحی باردنفو اصلاح شده آغاز به کار کرد و نتایج حاصل از راندمان های حذف پارامترهای مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است.

بر اساس یافته‌ها، متغیرهای مورد بررسی در ورودی دچار تغییرات و شوک‌های زیادی است. به طوری که در بعضی از موارد مقدار COD بالاتر از ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر می باشد. میانگین COD ورودی در سیستم  $(674/55 \pm 228/54)$ ، pH ورودی  $(7/22 \pm 0/35)$ ، فسفر ورودی  $(21/26 \pm 4/8)$ ، نیترات ورودی  $(25/91 \pm 19/63)$  است. میانگین DO تانک بی هوازی  $(0/23 \pm 0/09)$ ، آنوکسیک اول  $(0/4 \pm 0/12)$ ، تانک هوازی اول  $(2/12 \pm 0/56)$ ، آنوکسیک دوم  $(0/52 \pm 0/12)$ ، هوازی دوم  $(2/42 \pm 0/29)$  BOD ورودی در افق طرح

## جدول ۲- آمار توصیفی خصوصیات فاضلاب ورودی و خروجی به پایلوت

Table 2. Descriptive statistics of input and output sewage properties to pilot

p.value	سه ماهه سوم		سه ماهه دوم		سه ماهه اول		شاخص پارامتر
	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	
0/203	136/1	632/7	218/7	647/8	297/9	743/7	COD ورودی
0/165	29/68	145/7	43/1	126/2	94/39	161/9	COD خروجی
0/015	3/22	20/38	1/26	23/29	2/38	20/09	فسفر ورودی
0/015	1/38	7/62	2/31	7/53	1/56	6/38	فسفر خروجی
0/795	3/12	24/7	33/87	27/9	4/45	25/1	نیترات ورودی
0/052	1/58	7/57	1/90	7/17	0/918	6/60	نیترات خروجی
0/397	0/163	7/13	0/131	7/06	2/56	7/54	pH ورودی
0/029	0/152	7/41	0/178	7/33	0/307	7/25	pH خروجی

متغیرها به کار می رود بین فسفر ورودی و خروجی در سه ماهه اول و دوم تفاوت معنا داری وجود داشت ( $P < 0/05$ )، ولی با سه ماهه سوم این تفاوت معنا دار نبود ولی سه ماهه دوم و سوم با هم تفاوت معنا داری در میانگین داده ها مشاهده شد. بین میانگین مقدار نیترات ورودی در بازه‌های زمانی تفاوت معنا دار نبود ( $P > 0/05$ ) ولی بین سه ماهه اول و سوم مقادیر تفاوت معنا داری داشتند.

همان طور که یافته های جدول (۲) نشان می دهد میانگین مقدار COD و نیترات ورودی و خروجی در بازه زمانی مختلف اختلاف دارند ولی این تفاوت از نظر آماری معنا دار نیست ( $P > 0/05$ ). میانگین مقدار فسفر ورودی و خروجی در بازه های زمانی مختلف با یکدیگر اختلاف معنا داری دارند ( $P < 0/05$ ). بر اساس آزمون LSD که برای مقایسه چندگانه (هریک از گروه ها را با گروه های دیگر بصورت جداگانه مقایسه می کند)

جدول ۳- درصد حذف فسفر کل در بازه های زمانی تانک بی هوازی

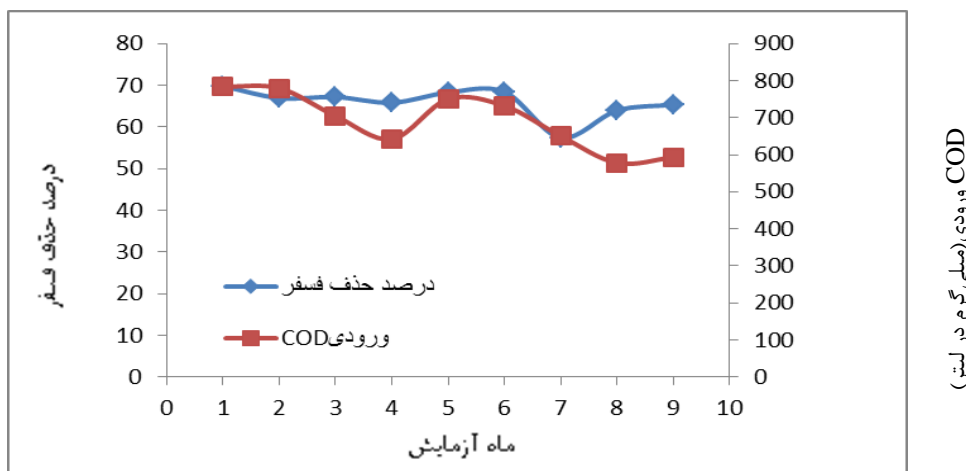
Table 3. Percentage removal of total phosphorus in anaerobic tank time intervals

p.value	۱/۵ ساعت		۱ ساعت		۰/۵ ساعت		شاخص درصد حذف
	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	
۰/۱۳۶	۹/۵۰	۶۶/۳۹	۷/۳۸	۶۹/۵۱	۷/۷۱	۶۴/۳۷	فسفر

بر اساس آزمون رگرسیون مشخص شد که بین میزان COD ورودی و درصد حذف فسفر ارتباط معناداری وجود دارد (P-value < ۰/۰۰۴). که معادله رگرسیون آن به صورت زیر می باشد.

$$\text{درصد حذف فسفر} = ۵۷/۴۹ + ۰/۰۱۴ \text{COD}_{In}$$

با توجه به یافته های جدول (۳) میانگین درصد حذف فسفر در بازه های زمانی مختلف در تانک بی هوازی با یکدیگر تفاوت دارند ولی این تفاوت از نظر آماری معنادار نمی باشد (P > ۰/۰۵). از طرف دیگر با استفاده از مقایسه چند گانه میانگین حذف در زمان های ۰/۵ و ۱ ساعت با یکدیگر تفاوت معناداری داشتند (P = ۰/۰۱۹).



نمودار ۱ - تغییرات درصد حذف فسفر در مقابل COD ورودی

Chart 1. Percentage change in phosphorus versus input COD

همان طور که نمودار ۵ نشان می دهد با افزایش مقدار COD ورودی درصد حذف فسفر افزایش می یابد.

جدول ۴- درصد حذف فسفر کل در بازه های زمانی توقف سلولی

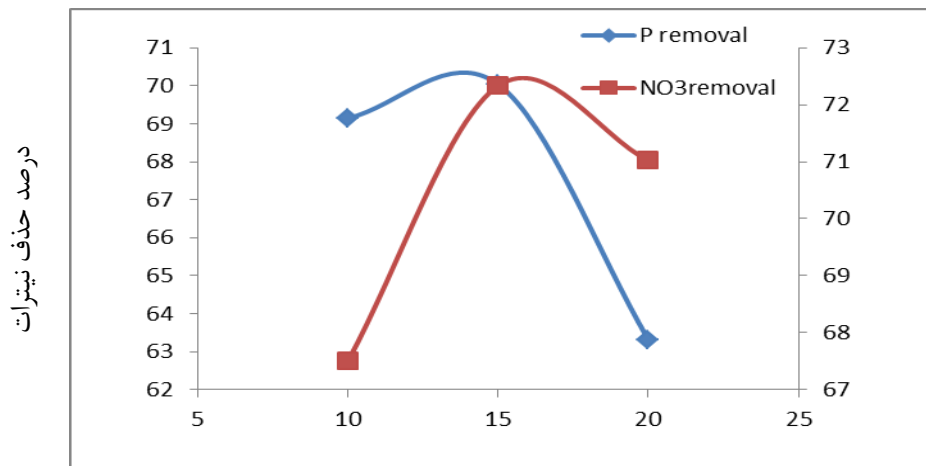
Table 4. Percentage of removal of total phosphorus in cell stop time

p.value	۲۰ روز		۱۵ روز		۱۰ روز		شاخص درصد حذف
	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	
۰/۰۴۰	۹/۹۰	۶۳/۲۳	۷/۲۹	۶۹/۷۲	۷/۱۱	۶۷/۳۸	فسفر

سلولی ۱۵ روزه و کم تر از آن مشاهده شد. درصد حذف نیترات در زمان توقف سلولی ۱۵ روزه و بالاتر حداکثر بود.

همان طور که نتایج جدول (۴) نشان می دهد میانگین درصد حذف فسفر در زمان توقف سلولی مختلف با یکدیگر تفاوت معناداری دارد (P < ۰/۰۵). بیش ترین حذف در زمان توقف





نمودار ۲- درصد حذف نیترات و فسفر با تغییرات زمان توقف سلولی

Figure 2. Percentage of removal of nitrate and phosphorus with changes in cell stop time

جدول ۵- درصد حذف فسفر کل با درصد بازچرخش داخلی

Table 5 . Percentage removal of total phosphorus with internal recyclability

p.value	%۴۰۰		%۳۰۰		%۲۰۰		شاخص درصد حذف
	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	
۰/۰۴۰	۸/۱۴	۶۳/۰۸	۴/۶۴	۶۷/۸۰	۹/۱۶	۶۸/۹۶	فسفر

نتایج جدول (۵) نشان می دهد میانگین درصد حذف فسفر در

هرچه میزان بازچرخش داخلی کم تر باشد میزان

حذف فسفر بیشتر است.

درصد بازچرخش داخلی با یکدیگر تفاوت معنا داری دارد

جدول ۶- درصد حذف فسفر کل با درصد لجن برگشتی

Table 6 . Percentage of total phosphorus removal with percentage of returning sludge

p.value	%۱۰۰		%۷۵		%۵۰		شاخص درصد حذف
	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	
۰/۰۰۰	۶/۶۰	۶۱/۴۶	۷/۴۲	۶۹/۴۰	۸/۱۷	۶۷/۹۸	فسفر

همان طور که یافته های جدول (۶) نشان می دهد بالاترین

درصد حذف فسفر در لجن برگشتی ۷۵٪ (۶۹/۴۰) مشاهده

دار است (  $P < 0.05$  ).

شده است و این تفاوت با سایر درصد های لجن برگشتی معنا

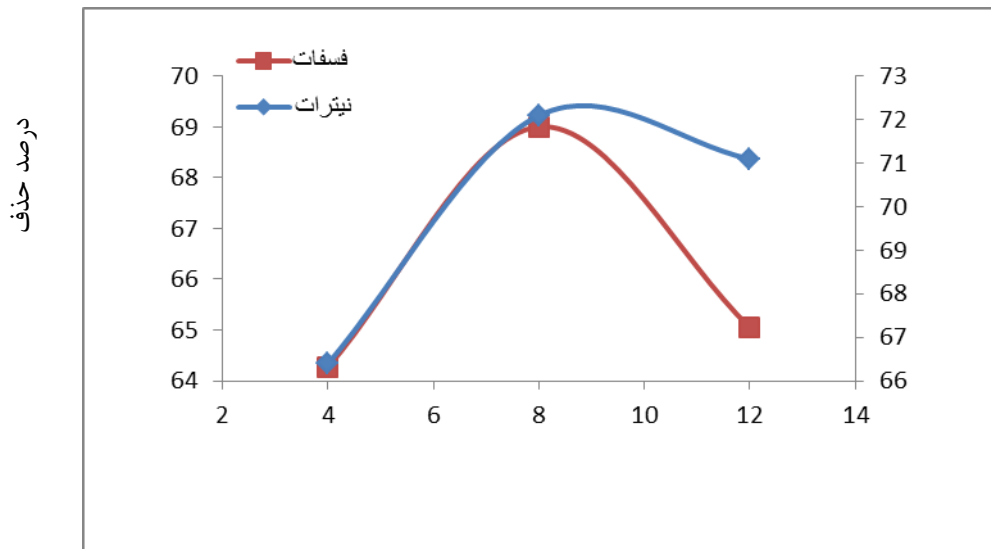
## جدول ۷- درصد حذف فسفر کل با زمان ماند های مختلف هیدرولیکی

Table 7. Percentage removal of total phosphorus with different hydraulic residuals

هوازی دوم (ساعت)			آنوکسیک دوم (ساعت)			هوازی اول (ساعت)			آنوکسیک اول (ساعت)			شاخص
۱	۰.۷۵	۰.۵۰	۴	۳	۲	۱۲	۸	۴	۳	۲	۱	
M-SD			M-SD			M-SD			M-SD			حذف فسفر
۶۵/۴۷	۶۹/۳۵	۶۳/۶۹	۶۲/۷۶	۶۸/۴۸	۶۶/۵۱	۶۵/۰۵	۶۹	۶۴/۲۷	۶۵/۴۹	۶۸/۵۳	۶۳/۸۷	
±۸/۶۸	±۷/۵۰	±۷/۴۵	±۸/۳۷	±۷/۴۰	±۷/۴۱	±۹/۵۱	±۷/۳۶	±۶/۳۵	±۸/۶۵	±۷/۴۹	±۷/۴۸	
۰/۰۴۰			۰/۰۲۳			۰/۰۷۴			۰/۰۹۷			P.value

فسفر در تانک های آنوکسیک اول و هوازی اول در زمان ماند های مختلف، تفاوت معنی داری نداشتند ( $P > 0.05$ ) ولی در تانک های آنوکسیک دوم و هوازی دوم این تفاوت معنا دار بود ( $P < 0.05$ ).

طبق یافته های جدول (۷)، درصد حذف فسفر در مرحله آنوکسیک اول در زمان ماند ۲ ساعت (۶۸/۵۳٪)، هوازی اول ۸ ساعت (۶۹٪)، آنوکسیک دوم ۳ ساعت (۶۸/۴۸٪)، هوازی دوم ۰/۷۵ ساعت (۶۹/۳۵٪) دارای بیش ترین مقدار بود. درصد حذف



نمودار ۳- درصد حذف نیترات و فسفات در تانک هوازی اول

Figure 3. The percentage of nitrate and phosphate removal in the first aerobic tank

## جدول ۸- بهیته حذف فسفر در پایلوت باردنفو اصلاح شده

Table 8. Correction factor for phosphorus removal in a pilot plant

زمان ماند سلولی (روز)	زمان ماند هیدرولیکی (ساعت)			باز چرخش لجن (درصد)	باز چرخش داخلی (درصد)
	بی هوازی	آنوکسیک	هوازی		
۱۵	۰/۵-۱	۱ <sup>st</sup> : ۲	۱ <sup>st</sup> : ۸	۷۵	۲۰۰
		۱ <sup>nd</sup> : ۳	۱ <sup>nd</sup> : ۰/۷۵		

## بحث و نتیجه گیری

در مطالعه حاضر از فاضلاب واقعی ورودی به تصفیه خانه استفاده شد که بدلیل شوک های وارد شده به تصفیه خانه از قبیل ورود فاضلاب سپتیک و صنعتی، پارامترهای مورد بررسی دارای نوساناتی می شدند. با مطالعه پارامترهای مختلف اثر گذار بر حذف بیولوژیک فسفر نشان داده شد که درصد حذف فسفر با زمان توقف سلولی ارتباط معنا دار دارد و با کاهش زمان ماند سلولی و افزایش دفع لجن حذف فسفر افزایش می یابد. ترابیان و همکارانش در مطالعه ای نشان دادند از یک طرف با افزایش زمان واکنش بی هوازی می توان راندمان حذف فسفر را بالا برد و از طرف دیگر با کنترل دقیق حجم لجن مازاد (عمر لجن) در راندمان حذف اثر مثبت گذاشت (۲۴). در مطالعه حاضر با افزایش مقدار COD ورودی درصد حذف فسفر بالاتر است. جان تی و همکاران گزارش کرده اند که در زمان توقف سلولی ۵ روز اگر  $CO_2 : P = 130:1$  باشد زدایش فسفر بیش از زمانی است که این نسبت برابر  $65:1$  باشد (۲۵). به دلیل مشکل بودن کنترل DO در این سیستم مقدار اکسیژن محلول در بعضی از مواقع از حد تعیین شده کاهش می یافت که باعث کاهش درصد حذف و افزایش مقدار فسفر خروجی می شد (میانگین DO در تانک هوازی  $2/27$  میلی گرم بر لیتر بود). ویلیام و همکارانش در مطالعه ای نشان دادند که اکسیژن محلول از اواسط مخزن به بعد باید حداقل دو میلی گرم در لیتر و در خروجی مخزن ۵ میلی گرم در لیتر باشد (۲۶). لون و شاپیرو نیز تایید شده است که کم شدن اکسیژن محلول باعث آزاد سازی فسفر می شود. آن ها اظهار می دارند که اگر اکسیژن محلول به  $0/2$  تا  $4$  میلی گرم در لیتر کاهش یابد، جذب فسفر صورت نمی گیرد (۲۷). pH از عوامل تاثیر گذار بر حذف فسفر است به طوری که زمانی که فاضلاب به سمت اسیدی شدن می رود میزان حذف فسفر کاهش می یابد. تغییرات pH با توجه به ورود ناگهانی فاضلاب سپتیک و صنعتی به فاضلاب تصفیه خانه شهری می باشد. در این مطالعه میانگین pH بین  $7-7/5$  نشان داده شد. نگاشیما و همکاران که حذف فسفر را در واحد تغییر یافته باردنفو مطالعه می کردند مشاهده کردند وقتی pH از ۵

به ۸ افزایش یابد بازدهی حذف فسفر از ۴۲ به ۹۲ درصد افزایش می یابد در pH کم تر از  $6/5$  حذف فسفر قابل توجه نیست (۲۸). خاصیت بازدارندگی نیترات در آزاد شدن فسفر در شرایط بی هوازی قابل توجه است. در این مطالعه با افزایش مقدار نیترات مقدار حذف فسفر به شدت کاهش می یابد. در یک بررسی انجام شده توسط غازی عیدان نشان داده شده است که آزاد شدن فسفر با افزایش غلظت نیترات به بیش از ۲ میلی گرم در لیتر، به شدت کاهش می یابد (۱۸). درصد حذف فسفر در بازه های زمانی  $0/5$  و ۱ ساعت در تانک بی هوازی بالاترین حذف را نشان داد. طبق اطلاعات بدست آمده، شرایط بهینه برای حذف فسفر،  $SRT=15$ ،  $HRT=1-0/5$ ، تانک بی هوازی، درصد بازچرخش داخلی  $200\%$ ، درصد لجن برگشتی  $75\%$  و حفظ  $DO=2-3$  نشان داده شد. همچنین با توجه به اثر مثبت COD بر میزان حذف فسفر، تنظیم مقدار COD ورودی و جلوگیری از شوک های ناشی از کاهش یا افزایش ناگهانی آن در سیستم درصد حذف فسفر را بهبود می بخشد. بنابراین با توجه به اطلاعات بدست آمده، برای زدایش فسفر علاوه بر روش های فیزیکی و شیمیایی می توان از فرآیندهای زیستی اصلاح شده استفاده کرد. در این سامانه ها با قرار دادن یک مرحله بی هوازی در ابتدای فرآیند، حذف فسفر بهبود می یابد. و این روش می تواند جایگزین مناسبی برای تصفیه خانه هایی که با سیستم لجن فعال کار می کنند باشد.

## References

1. Sartaj M, Fathollahi Dehkordi F, Filizadeh Y, 2004, Survey of pollutant Resources, self-purification ability and operation of Wetland in reduction and elimination of industrial agricultural and municipal pollutants, National congress of Civil Engineering, Iran.
2. Metcalf and Eddy Inc, 2003, Wastewater engineering: treatment and Reuse. 4 Edition. Mc Graw: Hill.

12. Najafpur A, Shariat SM, Mesdaghiniya A, Naseri S, Mahvi A, 1999, Biological phosphorus removal from wastewater using anaerobic reactor – aerobic. *Humans Environ*; 5:46-53.
13. Gerard D, Michael H, 2008, [Wastewater treatment bacteria]. First ed. Yousefi Z, Tkdstan, Afshin, Rafat panah, editor. Tehran: Roxana Ayandeh sazan publishers.
14. Cirja M, Ivashechkin P, ffer AS, Corvini PFX, 2008, Factors affecting the removal of organic micropollutants from wastewater in conventional treatment plants (CTP) and membrane bioreactors (MBR), *Review Environmental Science Biotechnol*;7.
15. Eydan GH, 2009, Biological phosphorus removal, *Journal of the Association of Iranian oil*, P:70.
16. Dong Wei, Li Shi, Tao Yan, Ge Zhang, Yifan Wang, 2014, The formation of aerobic granular nitrogen and phosphorus removal at the wastewater treatment of high strength ammonia in sequencing batch reactor. *Bin DuBioresource Technology*. 171, 211–216
17. Azhdarpoor A, Abadi E, Mohammadi P, Dehghani M, 2015, Evaluation of modified anoxic/aerobic sequencing batch reactor (SBR) performance for the removal of organic matter and nitrogen from wastewater. *Iranian Journal of Health & Environment*. 7: 4, 531-540. 10
18. Mostafa M. Emaraa,b, Farag A. Ahmeda , Farouk M. Abd El-Azize and Ahmed M.A. Abd El – Razekd,2014, Biological Aspects of the Wastewater Treatment Plant “Mahala Marhoom” in Egypt and
3. Alleman J.E., 2000, “The History of Fixed-Film Wastewater Treatment Systems”, Article- Biofilmhistory, html,
4. Naddaf K, 2001, sewage treatment, second edition, the Ministry of Construction and Training.
5. Samadi A, 2004, optimization of operating conditions in activated sludge wastewater treatment systems, dairy factories, *Iran University of Science and Technology*, No. 5- 3.
6. Imhof S., K., 1989, "Handbook of Drainage and Wastewater Disposal", John Wiley & Sons.
7. Avcioglu E, orhon D, 1998, sozen, A new method for the assessment of hetrothrophic endogenous respiration rate under aerobic and anoxic condition; 38(8- 9): 95-103
8. Hassani A, 2009, review the performance of aeration systems (activated sludge) in wastewater with a fixed bed with times of high pollution, *Environmental Science and Technology*, No. 4.
9. Abrishamchi A, Afshar A, 2006, Jamshid B. [Metcalf and Eddy. (wastewater engineering).] First ed. New York Warer and wastewater Consulting engineers of design and Research.
10. Mahvi AH, Mesdaghinia AR, Karkani F, 2004, Biological phosphorus removal from wastewater by sequencing batch reactor (patience) with continuous flow. *J Med Sci Health Services*; 12:72-80.
11. Mahmut O, Ayhan S, 2003, Enhancing phosphate removal from wastewater by using polyelectrolytes and clay injection *J Hazardous Material* 2003;100:227-36.

- effect of anaerobic sludge age on biological phosphorus removal in a Sequencing Batch Reactors. *ecology*, 27 :6 - 1
25. John T. Riding, William R, 1979, Elliott and Joseph H Activated Sludge Phosphorus Removal Mechanisms. *Sherrard Journal (Water Pollution Control Federation)*. Vol. 51, 5. 1040-1053
  26. William A. Eberhardt and John B, 1968, Nesbitt Chemical Precipitation of Phosphorus in a High-Rate Activated Sludge System *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 40, No., 1239-1267
  27. Gilbert V. Levin and Joseph Shapiro, 1965, Metabolic Uptake of Phosphorus by Wastewater Organisms. *Journal (Water Pollution Control Federation)*. 37: 6. 800-821
  28. Nagashima, M. et al, 1979, Nitrification Denitrification Recycling System for Nitrogen and Phosphorus Removal from Fermentation Wastewater. *Fermentation Tehcnology*. 57(2). Modified with Bardenpho Processes. *Nature and Science*;12(10)
  19. Tether F, Jafarzadeh haghghi fard N, omidi nasabv M, Hashemi F, 2012 Evaluation of attached growth anaerobic batch process alternating with aerobic second phase orthophosphate removal from wasrwater refined on a laboratory scale, Department of Environmental Health, School of Public Health, Medical University of Ahwaz.
  20. Melidis P, Vaiopoulou E, Aivasidis A, 2008, Development and implementation of microbial sensors for efficient process control in wastewater treatment plants, *Bioprocess Biosyst Engineering*;31
  21. Ebrahimi A. Erfani M, 2012, View authors examine the effectiveness of various methods of biological nutrient removal BNR economic and compare them. The second national conference structures, and geotechnical earthquake.
  22. Eaton AD, Franson MAH, 2005, Standard methods for the examination of water & wastewater, *Amer Public Health Assn*:5
  23. Michigan Water Environment Association Annual Conference, 2008, june 23, Boyne Falls Mi.
  24. Torabian A, Amin Zadeh B., really good, MR; 2001, Investigating the