Archive of SID

تعیین زمان ماند هیدرولیکی بهینه برای زدایش بیولوژیکی فسفر در راکتور USBF

سمیرا فرتوس، حسین گنجی دوست*+، بیتا آیتی
تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

چکیده: فرایند فیلتراسیون جریان رو به بالا با بستر لجن (USBF)، یک روش مؤثر و نوین در تصفیه پساب و در واقع یک نوع فرایند لجن فعال متعارف اصلاح شده می‌باشد. در این پژوهش، فرایند حذف بیولوژیکی فسفر در یک مجموعه آزمایشگاهی USBF ۶۰ لیتری با جریان پساب مصنوعی پیوسته مورد بررسی قرار گرفت که برای تعیین زمان ماند هیدرولیکی بهینه براساس بیش‌ترین راندمان حذف فسفر در خروجی سامانه، جریان پساب با شدت جریان‌های ۰٫۶۷، ۰٫۸، ۱، ۱٫۳۳ و ۲ لیتر در ساعت و با نسبت COD/P در حدود ۵۰ در بازه‌ی pH، ۶٫۵ تا ۷٫۸ و دمای محیط (۲۰±۲°C) به سامانه اعمال شد. برمبنای نتیجه‌های به دست آمده از آزمایش‌ها میزان فسفر در خروجی راکتور، در شدت جریان‌های ورودی ۰٫۸ و ۰٫۶۷، سامانه به سرعت به حالت پایدار رسیده و راندمان حذف بیش از ۹۰٪ بود ولی در شدت جریان‌های ورودی ۱٫۳۳ و ۲ زمان بیشتری برای رسیدن به راندمان حذف مناسب در سامانه دیده شد. بنابراین با تحلیل‌های آماری انجام شده و در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی هر پروژه که با افزایش زمان ماند در یک شدت جریان ورودی ثابت، افزایش حجم حوضچه‌ها را در بر دارد، زمان ماند هیدرولیکی بهینه برای مجموعه آزمایشگاهی USBF، ۱۰ ساعت در زلال‌ساز با جریان رو به بالا از میان بستر لجن، تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: تصفیه بیولوژیکی، زمان ماند هیدرولیکی، پساب ورودی، فسفر، USBF.

KEY WORDS: Biological treatment, Hydraulic retention time, Influent, Phosphorus, USBF.

مقدمه

با نگاهی کوتاه به تاریخچه تصفیه پساب دیده می‌شود که در ابتدا حذف مواد معلق و آلی از پساب هدف اصلی تصفیه‌خانه‌ها بوده است ولی با گذشت زمان و بروز برخی مشکلات مانند بر هم خوردن تعادل اکوسیستم‌های آبی و پیدایش پدیده تغذیه‌گرایی[۱] در منابع پذیرنده پساب، روش‌های حذف عنصرهای مغذی نیتروژن و فسفر نیز مورد توجه قرار گرفته است. فسفر که در آب به‌عنوان یک عنصر مغذی برای رشد برخی گونه‌ها نیاز است، به دلیل ایجاد برخی عوارض ناشی از رشد بی‌رویه جلبک‌ها و سایر ارگانیسم‌های فتوسنتزکننده از جمله سیانوباکترهای سمی، در غلظت‌های بالاتر از ۶ میلی‌گرم در لیتر به‌عنوان آلودگی محسوب می‌شود (اوهمن، ۲۰۰۷ میلادی [۱]، استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست، ۱۳۷۳ [۲]) که در نتیجه حذف آن امری اجتناب ناپذیر می باشد.

گسترش روش‌های گوناگون حذف فسفر در پاسخ به نیاز کاهش میزان فسفر تخلیه شده به آب‌های سطحی از دهه ۱۹۵۰ میلادی

*عهده دار مکاتبات
+E-mail: h-ganji@modares.ac.ir

(۱) Eutrification

www.SID.ir

Archive of SID

آغاز شد. در ابتدا روش ترسیب شیمیایی مورد توجه قرار گرفت که این فناوری در حال حاضر نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد ولی با توجه به مشکلات مربوط به دفع لجن مازاد تولیدی و هزینه‌های به نسبت بالای مواد شیمیایی، روش‌های بیولوژیکی مورد توجه قرار گرفت. حذف بیولوژیکی فسفر برای اولین بار در طی فرایند تصفیه بیولوژیکی پساب در هندوستان توسط *اسرینات* و *همکاران* در سال ۱۹۵۹ میلادی گزارش شد. آنها مشاهده کردند که لجن برخی تصفیه‌خانه‌ها قابلیت جذب فسفر اضافی را (بیش از نیاز میکروارگانیسم‌ها برای رشد سلولی) در زمان هوادهی دارند (*مالکرنینز* و *همکاران*، ۲۰۰۴ میلادی [۳]). به دنبال این مشاهده، تکامل تدریجی طراحی و کاربرد فرایندهای حذف بیولوژیکی فسفر[۱] (BPR) در سال ۱۹۶۰ میلادی آغاز شد و بعد از مطالعات و پژوهش‌هایی، در اوایل سال ۱۹۷۰ میلادی شرایط عملیاتی مورد نیاز برای انجام فرایند در مقیاس کامل امکان‌پذیر شد. با این حال پژوهش بر روی مکانیسم، میکروبیولوژی و فرایندهای ویژه حذف بیولوژیکی فسفر تا به امروز ادامه یافته است (*مورس*، ۱۹۹۸ میلادی [۴]). نتیجه این پژوهش‌ها نشان داده که حذف فسفر در فرایندهای بیولوژیکی بیشتر در ترکیبی از سامانه‌های هوازی، بی‌هوازی و غیرهوازی با نام‌های تجاری گوناگون مانند فرایند A/O، فوستریپ، باردنفو رخ می‌دهد (*چوبانوگلاس*، ۲۰۰۳ [۵]).

در پژوهش‌های سال‌های اخیر، *اکین* و *آگارلو* تأثیر وجود یک ناحیه غیرهوازی را بر روی فرایند BPR در راکتور ناپیوسته متوالی[۲] (SBR) مورد بررسی قرار دادند. بدین ترتیب که ۳۰ دقیقه از زمان ته‌نشینی کاسته شده و برای انجام فرایندهای غیرهوازی (قبل از زمان هوادهی) در نظر گرفته می‌شد. نتیجه‌های به‌دست آمده، افزایش میزان حذف اولیه از ۶۷ به ۸۰ درصد را نشان داد (*اکین* و *آگارلو*، ۲۰۰۴ میلادی [۶]). در پژوهشی دیگر *ونگ* و *همکاران*، حذف بیولوژیکی فسفر را در سامانه SBR با فرایند هوازی تک مرحله‌ای مورد بررسی قرار دادند. نتیجه‌های این پژوهش نشان داد که سامانه، بدون فاز بی‌هوازی که به‌طور عموم یک مرحله کلیدی در فرایند BPR تصور می‌شد، به‌خوبی عمل می‌کند و غلظت فسفر پس از ۴ ساعت هوادهی به میزان ۰٫۲۲ تا ۱٫۷۹ mg/L می‌رسد. همچنین در این فرایند، فسفر بیشتر به شکل درون سلولی پلی فسفات ذخیره می‌شود و میزان ذخیره انرژی پلی هیدروکسی آلکانوات‌ها[۳] (PHA) در طول فرایند در حد ثابت و بسیار کم ۵ تا ۶ mg/L باقی می‌ماند. این نتیجه‌ها نشان‌دهنده‌ی این مطلب می‌باشد که فسفات در فرایند تک مرحله‌ای هوازی می‌تواند به شکل پلی فسفات و بدون تبدیل شدن به PHA در سلول‌ها تجمع نماید و درنتیجه با استفاده از این راکتور می‌توان فرایند BPR را تنها برای حذف فسفات به‌کار گرفت (*ونگ* و *همکاران*، ۲۰۰۷ میلادی [۷]). *برایتون* و *همکاران* نیز حذف بیولوژیکی فسفر را در تصفیه پساب کارخانه‌های لبنیات، توسط سامانه SBR بررسی کردند. در این پژوهش که با پساب دارای نسبت‌های COD/P برابر با ۲۵، ۱۵ و ۱۰ انجام شده بود، نتیجه‌ها نشان داد که حذف کامل فسفر (بالای ۹۹ درصد) در نسبت‌های ۲۵ و ۱۵ رخ می‌دهد و این در حالی است که در نسبت ۱۰ نیز حدود ۸۲ درصد فسفر ورودی حذف می‌شود. همچنین کمترین میزان COD/P برای حذف کامل فسفر نسبت ۱۳٫۱ ارایه شده است (*برایتون* و *همکاران*، ۲۰۰۸ میلادی [۸]).

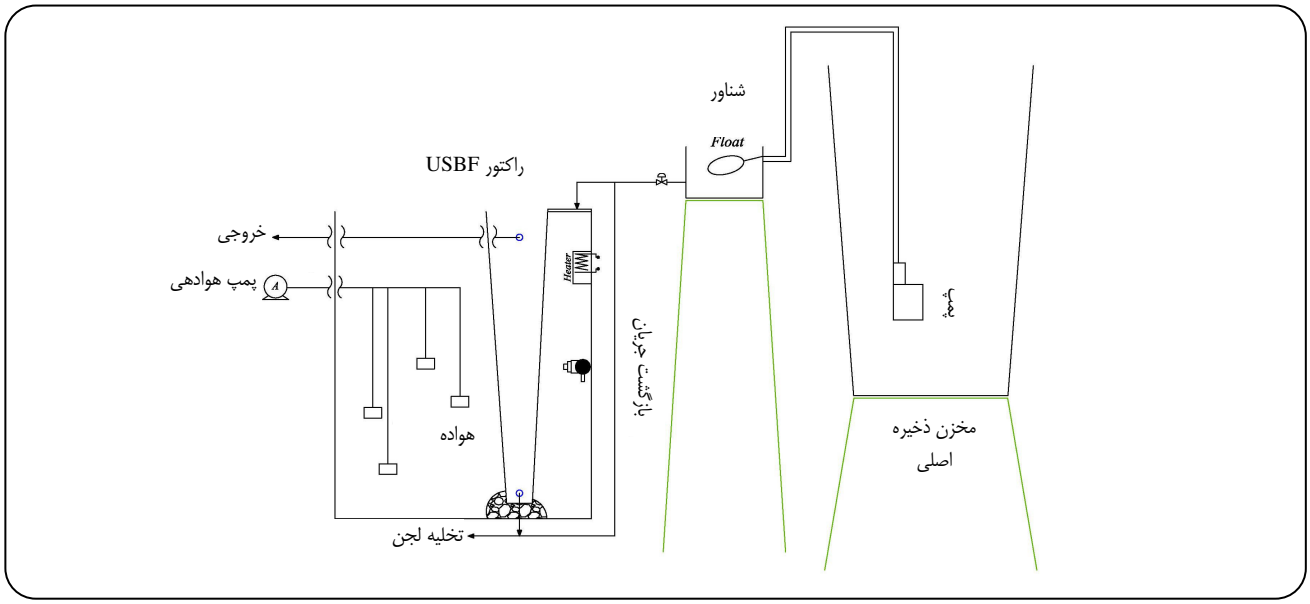
پژوهش در زمینه حذف بیولوژیکی فسفر در ایران نیز مورد توجه قرار گرفته است که از این جمله، *غنی‌زاده* عملکرد سامانه SBR را در حذف مواد آلی و مغذی از پساب شهری، مورد بررسی قرار داد و برای بهینه‌سازی این فرایند جهت دستیابی به راندمان حذف مناسب این آلاینده‌ها از گرانول کربن فعال در این راکتور استفاده نمود. بالاترین میزان حذف COD و فسفر کل در این پژوهش به ترتیب ۹۶ و ۹۷ درصد گزارش شده است (*غنی‌زاده*، ۱۳۷۸ [۹]). در پژوهش دیگر نیز، حذف بیولوژیکی فسفر در یک فرایند SBR با جریان پیوسته مطالعه شده است. در این پژوهش که در سه مرحله و با شدت جریان‌های پساب ورودی ۱٫۵، ۲ و ۲٫۵ لیتر بر ساعت انجام پذیرفت، راندمان حذف فسفر در سه مرحله به ترتیب ۳۸٫۵، ۵۲٫۱ و ۵۵٫۹ درصد دیده شد (*کرکانی*، ۱۳۸۴ [۱۰]).

فرایند فیلتراسیون جریان رو به بالا با بستر لجن[۴] یا USBF، در واقع نوع ترکیبی فرایند لجن فعال اصلاح شده و سامانه راکتورهای ناپیوسته متوالی (SBR) می‌باشد که شامل سه فاز گوناگون غیرهوازی، هوازی و زلال‌ساز با بستر لجن و جریان رو به بالا می‌باشد. آسان بودن بهره‌برداری، مصرف انرژی کمتر نسبت به سایر روش‌های معمول لجن فعال، کمترین تجهیزات مکانیکی و اشغال کمترین فضای ممکن، از ویژگی‌های مثبت این سامانه تصفیه پساب می‌باشد. از جمله تصفیه‌خانه‌هایی که با این فرایند در اروپا و امریکا طراحی و اجرا شده‌اند، پروژه تصفیه‌خانه پساب

(۱) Biological phosphorous removal
(۲) Sequencing Batch Reactor (SBR)
(۳) Poly- β-hydroxylalkanoates
(۴) Up flow sludge blanket filtration

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱ـ شمای راکتور USBF و تجهیزات مورد استفاده.

استراتمور در سال ۲۰۰۲ میلادی می‌باشد که برای جایگزینی هشت لاگون هوادهی گسترده با ظرفیت ۴ هزار مترمکعب در روز طراحی و اجرا شده است. پروژه تصفیه‌خانه میل اسپرینگ در کانادا نیز جهت تصفیه پساب شهری و استفاده از پساب آن در تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی در دو فاز در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۴ میلادی با استفاده از فناوری USBF به بهره‌برداری رسیده است ([۱۱] ww.ecofluid.com). شکل‌های گوناگونی از مفهوم‌های فرایند USBF شامل Anoxic Selector Zone و Upflow Blanket Clarifier در طی ۲۵ سال گذشته در جهان و نیز برای اولین بار در کشور، در شهر بناب استان آذربایجان‌شرقی استفاده‌شده است (سایت خبری شرکت مهندسی آب و پساب کشور [۱۲]).

در زمینه مطالعات آزمایشگاهی نیز، *رفرناندز* و *همکاران* تصفیه پساب کارخانه تولید فیبر چوب را با استفاده از یک مجموعه آزمایشگاهی صنعتی، متشکل از یک راکتور USBF و یک واحد انعقاد و لخته‌سازی به عنوان پیش‌تصفیه، مورد بررسی قرار دادند و به راندمان حذف COD و ترکیبات فنولی بالای ۹۰ درصد در سامانه دست یافتند (*فرناندز*، ۲۰۰۱ میلادی [۱۳]). *احمدی* نیز کارایی این فرایند را در تصفیه پساب‌های صنایع قندی مورد بررسی قرار داده که با توجه به نتیجه‌های به دست آمده از مجموعه آزمایشگاهی، در بارگذاری‌های COD کمتر از ۱۰ هزار میلی‌گرم در لیتر که معمول‌ترین و متداول‌ترین بازه‌ی بار آلودگی در پساب صنایع قندی می‌باشد، به‌طور میانگین راندمان حذف ۹۴ درصد، در بازه‌ی بارگذاری COD ۱۰ هزار تا ۲۰ هزار میلی‌گرم در لیتر، راندمان حذف ۸۹ درصد و در محدوده بارگذاری COD ۲۰ هزار تا ۳۰ هزار میلی‌گرم در لیتر، راندمان حذف ۸۲ درصد دیده شده است (*احمدی*، ۱۳۸۵ [۱۴]). پیشرفتی نیز کارایی فرایند USBF را در تصفیه پساب شهری مورد بررسی قرار داده است. در این پژوهش، راندمان حذف COD بیش از ۷۵ درصد در سه مرحله راهبری با زمان‌های ماند هوادهی ۶، ۴ و ۲ ساعت و راندمان حذف فسفر کل در مرحله اول برابر ۵۵ درصد، در مرحله دوم برابر با ۵۲/۵ درصد و در مرحله سوم هوادهی برابر ۲۹ درصد، را گزارش نموده است (*پیشرفتی*، ۱۳۸۶ [۱۵]).

با توجه به کارایی قابل قبول فرایند فیلتراسیون جریان رو به بالا با بستر لجن در تصفیه پساب‌های گوناگون، هدف از این پژوهش بررسی قابلیت این سامانه در حذف آلاینده فسفر و تأثیر کاهش زمان ماند هیدرولیکی بر روند حذف آن می‌باشد.

بخش تجربی

روش

به منظور تعیین زمان ماند هیدرولیکی بهینه براساس بیشترین راندمان حذف فسفر در خروجی، یک مجموعه آزمایشگاهی USBF ۶۰ لیتری شامل سه بخش غیرهوازی، هوازی و زلال‌ساز با مشخصات داده شده در شکل ۱، در آزمایشگاه مهندسی محیط‌زیست دانشگاه تربیت مدرس به مدت ۹ ماه مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت.

www.SID.ir

Archive of SID

طراحی مجموعه آزمایشگاهی بدین صورت است که جریان پساب ورودی از یک مخزن ۱۰ لیتری، توسط یک شیر کنترل جریان و با عبور از یک صافی به عنوان آشغال‌گیر برای جداسازی ذرات درشت و جامد نامحلول، وارد ناحیه غیرهوازی پایلوت و با عبور از بستر متخلخل بین دو ناحیه هوازی و غیر هوازی، به ناحیه هوازی وارد می‌شد و در زمان ماند مشخصی به آن هوادهی می‌شد و سرریز این ناحیه توسط لوله‌ای که در قسمت بالایی این حوضچه قرار داشت به انتهای بخش زلال‌ساز انتقال می‌یافت. در زلال‌ساز جریان پساب با طی یک مسیر رو به بالا و عبور از بستر لجن تشکیل شده، مواد معلق و قابل ته‌نشینی خود را از دست داده و خروجی سامانه در بخش بالایی زلال‌ساز توسط لوله‌ای از سامانه خارج می‌شد.

بذر میکروبی لازم جهت راه‌اندازی مجموعه آزمایشگاهی USBF از لجن فعال برگشتی حوض هوادهی تصفیه‌خانه پساب شهری اکباتان تهیه شد و برای سازگار نمودن میکروارگانیسم‌ها به شرایط غیرهوازی، به نسبت ۱۰:۱ با پهن گاوی ترکیب شد سپس خوراک محلول آب و قند با COD = ۲۰۰۰ mg/L به مخزن دربسته محتوی لجن اضافه شد و به‌مدت ۳۰ روز به حال خود گذاشته شد. برای جلوگیری از افت pH به‌ویژه در اثر انجام واکنش‌های اسیدسازی محلول بافر KH_2PO_4 و K_2HPO_4 نیز به سامانه افزوده شد تا pH در بازه‌ی ۶٫۸ تا ۷٫۲ ثابت نگه داشته شود.

با تلقیح لجن تنظیم شده، سامانه به‌مدت ۴۰ روز با جریان ناپیوسته پساب مصنوعی راهبری شد. با توجه به غلظت‌های متغیر پساب شهری و صنعتی، در این پژوهش از پساب مصنوعی دارای ترکیب‌های شیمیایی صنعتی گلوکز و سدیم استات به‌عنوان منبع اصلی کربن، اوره به‌عنوان منبع اصلی نیتروژن و ترکیب‌های K_2HPO_4، KH_2PO_4 و Na_3PO_4 به‌عنوان منبع فسفر استفاده شدند. غلظت ترکیبات اصلی به همراه غلظت عنصرهای ناچیز یا ریز مغذی[1] مورد استفاده در ترکیب پساب مصنوعی (به‌منظور افزایش کارایی و فعالیت میکروارگانیسم‌ها) در جدول ۱ نشان داده شده است و با توجه به آن، COD پساب ورودی حدود ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و میزان فسفر ورودی نیز حدود ۲۰ میلی‌گرم در لیتر فسفر (C:N:P = ۱۰۰:۵:۲) می‌باشد.

پس از پایان راه‌اندازی مجموعه آزمایشگاهی با جریان ناپیوسته، آزمایش‌های اصلی با ورود جریان پساب پیوسته و تغییر شدت جریان پساب ورودی آغاز شد. چکیده شرایط عملیاتی در جدول ۲ آمده است.

جدول ۱ـ ترکیب‌های شیمیایی پساب مصنوعی.

نام تجاری	فرمول شیمیایی	غلظت (mg/L)
گلوکز	$C_6H_{12}O_6.6H_2O$	۱۲۰۰
سدیم استات	$NaCH_3COOH$	۲۶۰
اوره	H_2NCONH_2	۱۱۰
هیدروژن فسفات دی پتاسیم	K_2HPO_4	۲۸
دی هیدروژن فسفات پتاسیم	KH_2PO_4	۲۲
تری سدیم فسفات	Na_3PO_4	۵۳
کلسیم کلرید	$CaCl_2$	۰٫۰۸۴
روی سولفات	$ZnSO_4.7H_2O$	۰٫۰۴۴
آهن (II) سولفات	$FeSO_4.7H_2O$	۰٫۰۲۵
کبالت سولفات	$CoSO_4.5H_2O$	۰٫۰۰۸
منگنز کلرید	$MnCl_2.4H_2O$	۰٫۰۰۷

جدول ۲ـ آزمایش‌های انجام شده در طی مدت پژوهش.

دوره	زمان ماند بی‌هوازی	زمان ماند هوازی	زمان ماند زلال‌ساز	شدت جریان
(روز)	(ساعت)	(ساعت)	(ساعت)	(L/h)
۲۰	۲۴	۶۴	۱۶	۰٫۵
۲۰	۲۱	۵۶	۱۴	۰٫۵۷
۲۰	۱۸	۴۸	۱۲	۰٫۶۷
۲۰	۱۵	۴۰	۱۰	۰٫۸
۲۰	۱۲	۳۲	۸	۱
۲۰	۹	۲۴	۶	۱٫۳۳
۲۰	۶	۱۶	۴	۲

(۱) Trace elements

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۲ــ تصویری از پایلوت USBF در انتهای دوره راه‌اندازی با جریان پیوسته.

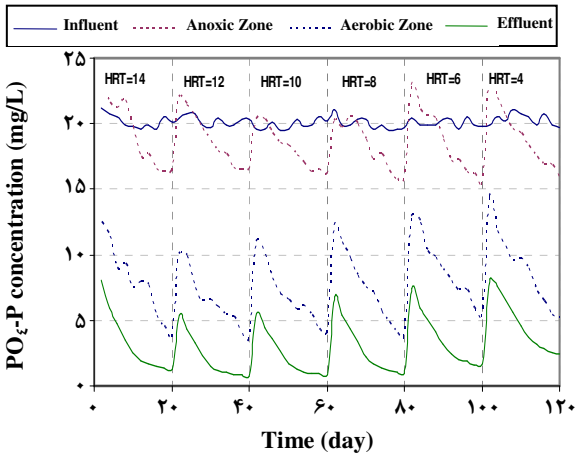
در این مدت برای ثابت نگه داشتن میزان مواد معلق فرار مایع مخلوط (MLVSS) در راکتورکه معرف بیومس فعال موجود می‌باشد، مقدار لجن برگشتی به ابتدای سامانه با توجه به معادله (۱) تعیین و به صورت دستی انجام می‌شد.

$$(Q_r + Q_{In}) \times MLSS = Q_r \times SDI + Q_{In} \times SS_{In} \qquad (۱)$$

که در این رابطه Q_r و Q_{In} به ترتیب شدت جریان لجن برگشتی و جریان پساب ورودی است، SDI شاخص دانسیته لجن موجود در زلال‌ساز و MLSS میزان مواد معلق لجن می‌باشد. میزان SS_{In} که میزان مواد معلق جامد موجود در پساب ورودی را نشان می‌دهد، در عمل ناچیز بوده و صفر در نظر گرفته شد. در شکل ۲ تصویری از مجموعه آزمایشگاهی USBF در انتهای دوره راه‌اندازی با جریان پیوسته نشان داده شده است.

مواد و دستگاه‌ها

آزمایش‌های انجام شده شامل اندازه‌گیری میزان COD و فسفر موجود براساس یون فسفات در نمونه‌های پساب ورودی و خروجی و نمونه‌های صاف شده ناحیه هوازی و غیرهوازی بود که به روش رنگ سنجی و با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر DR/4000 شرکت Hach صورت گرفت. همچنین اندازه‌گیری pH، DO و MLSS نیز بر اساس روش‌های کتاب استاندارد روش‌های آزمایش‌های آب و پساب انجام شد (APHA، ۱۹۹۵ میلادی [۱۶]) به‌منظور تعیین شاخص دانسیته لجن (SDI) نیز آزمایش ته‌نشینی لجن انجام شد که غلظت لجن ته‌نشین شده در حجم اشغال شده



شکل ۳ـ نتیجه‌های میزان غلظت یون PO_4-P در نمونه‌ها در کل دوره آزمایش‌ها.

پس از ۳۰ دقیقه برحسب mg/L نشان‌دهنده شاخص دانسیته لجن بود (*ترکیان* و *مردان*، ۱۳۷۹ [۱۷]).

نتیجه‌ها و بحث

با اندازه‌گیری منظم میزان فسفر موجود در نمونه‌های پساب ورودی و خروجی و نمونه‌های صاف شده ناحیه هوازی و غیرهوازی، میزان تغییرات غلظت فسفات در طول راهبری مجموعه آزمایشگاهی USBF با جریان پساب ورودی پیوسته تعیین می‌شد که نتیجه‌های آن در شکل ۳ آمده است. با توجه به این نمودار، دیده می‌شود که بیش‌ترین میزان حذف فسفر در ناحیه هوازی رخ می‌دهد که در واقع فرض جذب عالی در مکانیسم بیولوژیکی حذف فسفر را نیز تأیید می‌کند. کاهش کارآیی سامانه در حذف مواد آلی و مغذی در ابتدای هر مرحله کاهش زمان ماند هیدرولیکی نیز با توجه به افزایش شدت جریان ورودی قابل توجیه است. همچنین نتیجه‌های به دست آمده برای غلظت فسفر براساس یون فسفات موجود در پساب خروجی از راکتور، نشان می‌دهد که مجموعه آزمایشگاهی USBF می‌تواند فسفر را تا حد استاندارد (کمتر از ۶ mg/L) حذف کند.

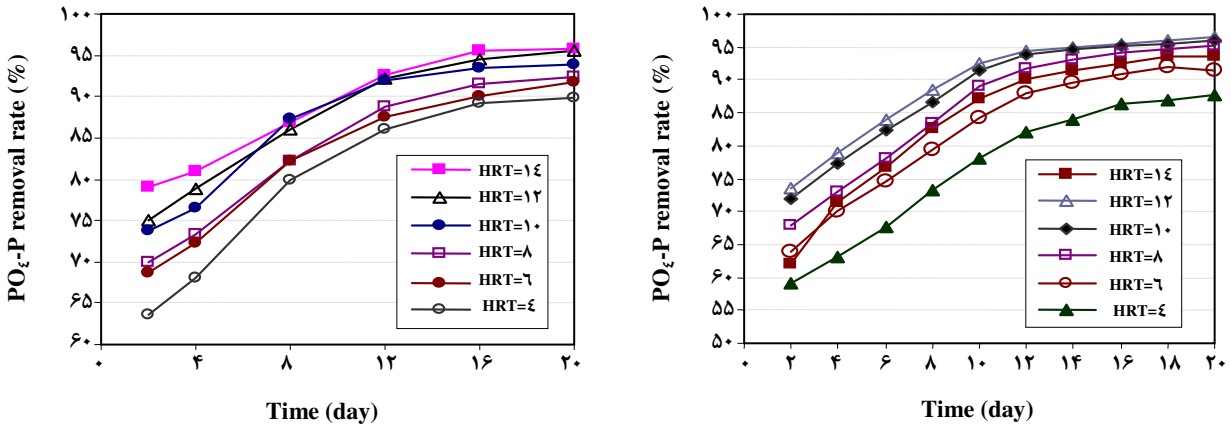
با مقایسه نتیجه‌های به دست آمده از میزان متوسط راندمان فسفر حذف شده در مجموعه آزمایشگاهی USBF، در طی ۶ مرحله، کاهش زمان ماند هیدرولیکی که در جدول ۳ نیز زیاد است، نتیجه می‌شود که راندمان حذف فسفر با کاهش زمان ماند هیدرولیکی تا ۱۰ ساعت افزایش و پس از آن با کاهش زمان ماند، راندمان حذف کاهش می‌یابد. در مورد قابلیت حذف COD سامانه نیز با توجه به جدول ۳ می‌توان گفت که زمان ماند هیدرولیکی و راندمان حذف COD

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳ـ نتیجه‌های کمی حذف فسفات (P) و مواد آلی (COD) در طول آزمایش‌ها با زمان‌های ماند گوناگون.

پارامتر	زمان ماند هیدرولیکی	راندمان حذف فسفر (درصد)		راندمان حذف COD (درصد)	
مرحله	HRT (h)	محدوده	متوسط	محدوده	متوسط
۱	۱۴	۶۲–۹۳٫۵	۸۴٫۱	۷۹–۹۵٫۸	۸۸٫۴
۲	۱۲	۷۳٫۶–۹۶٫۴	۸۹٫۵	۷۵–۹۵٫۵	۸۷
۳	۱۰	۷۲٫۱–۹۶	۸۸٫۵	۷۳٫۸–۹۵	۸۶٫۲
۴	۸	۶۸–۹۵٫۱	۸۶	۷۰–۹۲٫۳	۸۳
۵	۶	۶۴–۹۲	۸۲٫۴	۶۸٫۸–۹۱٫۸	۸۲٫۱
۶	۴	۵۹–۸۷٫۸	۷۶٫۸	۶۳٫۷–۸۹٫۸	۷۹٫۵



شکل ۴ـ مقایسه درصد حذف فسفات (P) و مواد آلی (COD) در طول آزمایش‌ها با زمان‌های ماند گوناگون.

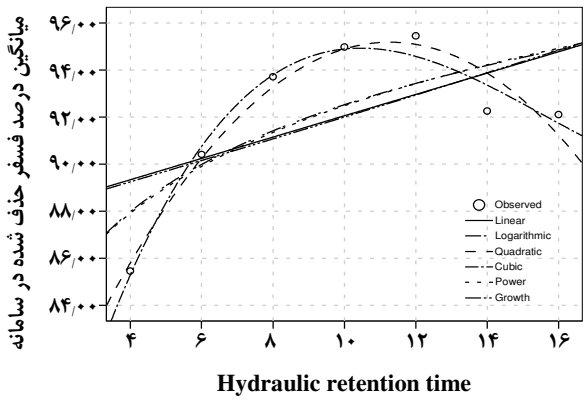
رابطه مستقیم داشته که با کاهش زمان ماند هیدرولیکی، راندمان حذف COD نیز کاهش می‌یابد.

برای مقایسه کارایی سامانه جهت حذف مواد آلی کربنی و فسفات در زمان‌های ماند گوناگون، درصد حذف فسفر و COD در طول هر دوره ۲۰ روزه در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به نتیجه‌های آزمایش‌ها میزان فسفر در خروجی راکتور، در شدت جریان ورودی ۰٫۸ و ۰٫۶۷ (زمان ماند ۱۲ و ۱۰ ساعت)، سامانه به سرعت به حالت پایدار رسیده و راندمان حذف در حدود ۹۵٪ از سامانه به دست آمد ولی در شدت جریان‌های ورودی ۱٫۳۳ و ۲ (زمان ماند ۶ و ۴ ساعت) زمان بیشتری برای رسیدن به راندمان حذف مناسب در سامانه دیده شد که میزان راندمان حذف در حدود ۸۵٪ پس از روز پانزدهم بود. با توجه به نتیجه‌های آزمایش‌های حذف بار آلی سامانه نیز دیده شد که در زمان‌های ماند بالاتر از ۱۰ ساعت، سامانه بعد از ۸ روز راندمان حذف بالای ۸۵ درصد خواهد داشت که رسیدن به همین درصد حذف در زمان‌های ماند کمتر پس از روز دوازدهم میسر شد.

برای تعیین زمان ماند هیدرولیکی بهینه در مجموعه آزمایشگاهی USBF مورد استفاده، باتوجه به نتیجه‌های به‌دست آمده، میانگین درصد حذف فسفر در پساب خروجی مجموعه در هر زمان ماند هیدرولیکی پس از رسیدن به شرایط پایدار تعیین شد. برای تعیین زمان ماند بهینه با بالاترین درصد حذف فسفر در سامانه، چندین نوع معادله به نقطه‌های دیده شده برازش داده شد که مقدار R در معادله منحنی درجه سه به یک نزدیکتر بود، درنتیجه با مدل کردن سامانه به‌کمک این معادله خط زمان ماند هیدرولیکی بهینه مقدار ۱۰ ساعت در زلال‌ساز با جریان رو به بالا از میان بستر لجن، تعیین شد (شکل ۵).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵ ـ میانگین درصد حذف فسفر پس از رسیدن به شرایط پایدار در هر زمان ماند هیدرولیکی.

نتیجه گیری

در این پژوهش کارایی و عملکرد فرایند USBF به‌عنوان یک فرایند لجن فعال اصلاح شده و نوین در حذف بیولوژیکی فسفر مورد بررسی قرار گرفت. همچنین تأثیر کاهش زمان ماند هیدرولیکی با افزایش شدت جریان پساب ورودی نیز بر سامانه مورد مطالعه قرار گرفت. نتیجه‌های این پژوهش در مقیاس نیمه صنعتی نشان داد که فرایند USBF گزینه‌ای مناسب برای تصفیه پساب‌های حاوی فسفر می‌باشد که می‌توان آن را جایگزینی مناسب برای روش‌های پیچیده و شیمیایی تصفیه پساب، برای رسیدن به راندمان حذف فسفر بالاتر، به ویژه در تصفیه پساب‌های شهری با بار آلی قابل ملاحظه، دانست. نتیجه‌های این پژوهش به قرار زیر می‌باشد:

• در زمان‌های ماند بین ۱۴ تا ۴ ساعت با غلظت ورودی حدود ۲۰ mg/L، بیش از ۹۰٪ فسفر حذف شده است که این میزان در مقایسه با درصد حذف سامانه‌های لجن فعال متعارف با راندمان حذف حدود ۱۰ تا ۲۵ درصد و راکتورهای ناپیوسته متوالی (SBR) حدود ۷۰ تا ۹۰ درصد، میزان قابل ملاحظه‌ای می‌باشد همچنین غلظت فسفر براساس یون فسفات در پساب خروجی این مجموعه آزمایشگاهی به حد استاندارد ۶ mg/L کاهش داده شده است. (*چوبانوگلاس*، ۲۰۰۳ میلادی [۵]، *اکین و اگارلو*، ۲۰۰۴ میلادی [۶]).

• بار آلی ورودی (COD) در حدود ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر، در زمان‌های ماند هیدرولیکی ۱۴ تا ۱۰ ساعت بالای ۹۵ درصد حذف شده است و همچنین COD پساب خروجی به حد استاندارد کمتر از ۶۰ میلی‌گرم در لیتر کاهش داده شده است.

• در این مجموعه آزمایشگاهی، کاهش زمان ماند هیدرولیکی تا ۱۰ ساعت اثر مثبت در راندمان حذف فسفر داشت، ولی با کاهش زمان ماند به کمتر از این مقدار، راندمان حذف فسفر در سامانه کاهش یافت.

• زمان ماند هیدرولیکی و راندمان حذف بار آلی در این مجموعه آزمایشگاهی، با یکدیگر رابطه مستقیم داشت که با کاهش زمان ماند هیدرولیکی، راندمان حذف COD نیز کاهش می‌یافت.

• با توجه به مطالعه آزمایشگاهی مجموعه آزمایشگاهی USBF در تصفیه پساب کارخانه تولید فیبر و پساب صنایع قندی راندمان حذف COD و ترکیب‌های فنلی بیش از ۸۲ تا ۹۰ درصد دیده شد که با توجه به نتیجه‌های این پژوهش و راندمان حذف بالای ۹۵ درصد حذف COD، نشان از عملکرد مناسب سامانه در حذف بار آلی ورودی به سامانه دارد (*احمدی*، ۱۳۸۵ [۱۴]، *فرناندز*، ۲۰۰۱ میلادی [۱۳]).

• در پژوهش *پیشرفتی* [۱۵]، در مجموعه آزمایشگاهی USBF با استفاده از پساب شهری در زمان ماندهای هوادهی ۲، ۴ و ۶ ساعت، راندمان حذف COD بالای ۷۵ درصد و فسفر حدود ۵۵ درصد ایجاد شده که با توجه به نتیجه‌های پژوهش، افزایش زمان ماند هوادهی باعث بهبود کارایی فرایند شده است به طوری که در زمان ماند هوادهی ۶ تا ۲۱ ساعت میزان راندمان حذف COD و فسفر به ترتیب ۹۵ و ۹۰ درصد دیده شد.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۲/۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۴/۱۴

مراجع

[1] Oehmen A., Lemos P.C., Carvalho G., Yuan Z., Keller J.R., Blackall L.L., Reis M.A.M., Advances in Enhanced Biological Phosphorus Removal: From Micro to Macro Scale, *Water Research journal*, **41**, p. 2271 (2007).

[۲] استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران، تخلیه استاندارد خروجی فاضلاب، صفحه ۲۳ (۱۳۷۳).

[3] Mulkerrins D., Dobson A.D.W., Colleran E., Parameters Affecting Biological Phosphate Removal from Wastewaters, *Environment International Journal*, **30**, p. 249 (2004).

www.SID.ir

Archive of SID

[4] Morse G.K., Brett S.W., Guy J.A., Lester J.N., Review: Phosphorus Removal and Recovery Technologies, *The Science of the Total Environment*, **212**, p. 69 (1998).

[5] Tchobanoglous G., Burton F.L., Stensel H.D., "Wastewater Engineering: Treatment and Reuse", 4th Edition, Metcalf & Eddy Inc., McGraw-Hill Science Engineering, New York, USA (2003).

[6] Akin B.S., Ugurlu A., The effect of an Anoxic Zone on Biological Phosphorus Removal by a Sequential Batch Reactor, *Bioresource Technology*, **94**, p. 1 (2004).

[7] Wang D., Li X., Yang Q., Zeng G., Liao D., Zhang J., Biological Phosphorus Removal in Sequencing Batch Reactor with Single-Stage Oxic Process, *Bioresour. Technol.*, doi:10.1016/j.biortech.2007.11.007 (2007).

[8] Broughton A., Pratt S., Shilton A., "Enhanced Biological Phosphorus Removal for High-Strength Wastewater with a Low rbCOD:P ratio", *Bioresource Technology*, **99**, p. 1236 (2008).

[۹] غنی‌زاده، نادر؛ "بررسی حذف مواد آلی و مغذی از فاضلاب شهری در راکتور SBR و محیط گرانول کربن فعال"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۷۵).

[۱۰] کرکانی، فرهام؛ محوی، امیر حسین؛ مصداقی‌نیا، علیرضا؛ شیری، لیلا؛ "حذف بیولوژیکی فسفر از فاضلاب توسط راکتور ناپیوسته متوالی (SBR) با جریان پیوسته"، هشتمین همایش ملی بهداشت و محیط، دانشگاه علوم پزشکی تهران، (۱۳۸۴).

[11] www.ecofluid.com

[۱۲] سایت خبری شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور http://news.nww.co.ir

[13] Fernandez J.M., Omil F., Mendez R., Lema J.M., Anaerobic Treatment of Fiberboard Manufacturing Wastewaters in A Pilot Scale Hybrid USBF Reactor, *Wat. Res.*, **35**(17), p. 4150 (2001).

[۱۴] احمدی، مریم؛ "عملکرد کارایی سیستم فیلتراسیون جریان رو به بالا با بستر لجن در تصفیه فاضلاب صنایع قندی"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران (محیط زیست)، دانشکده فنی، دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۸۵).

[۱۵] پیشرفتی، حسن؛ "بررسی کارایی تصفیه فاضلاب شهری با فرایند USBF"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی تهران، دانشکده بهداشت و انیستیتو و تحقیقات بهداشتی، (۱۳۸۶).

[16] APHA, AWWA, WEF, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 19th Edition, Washington, USA. (1995).

[۱۷] ترکیان، ایوب؛ مردان، سعید؛ (ترجمه) "واحدهای عملیاتی و فرایندی در مهندسی محیط زیست"، جلد دوم، انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، صفحه ۴۸۱ (۱۳۷۹).

www.SID.ir